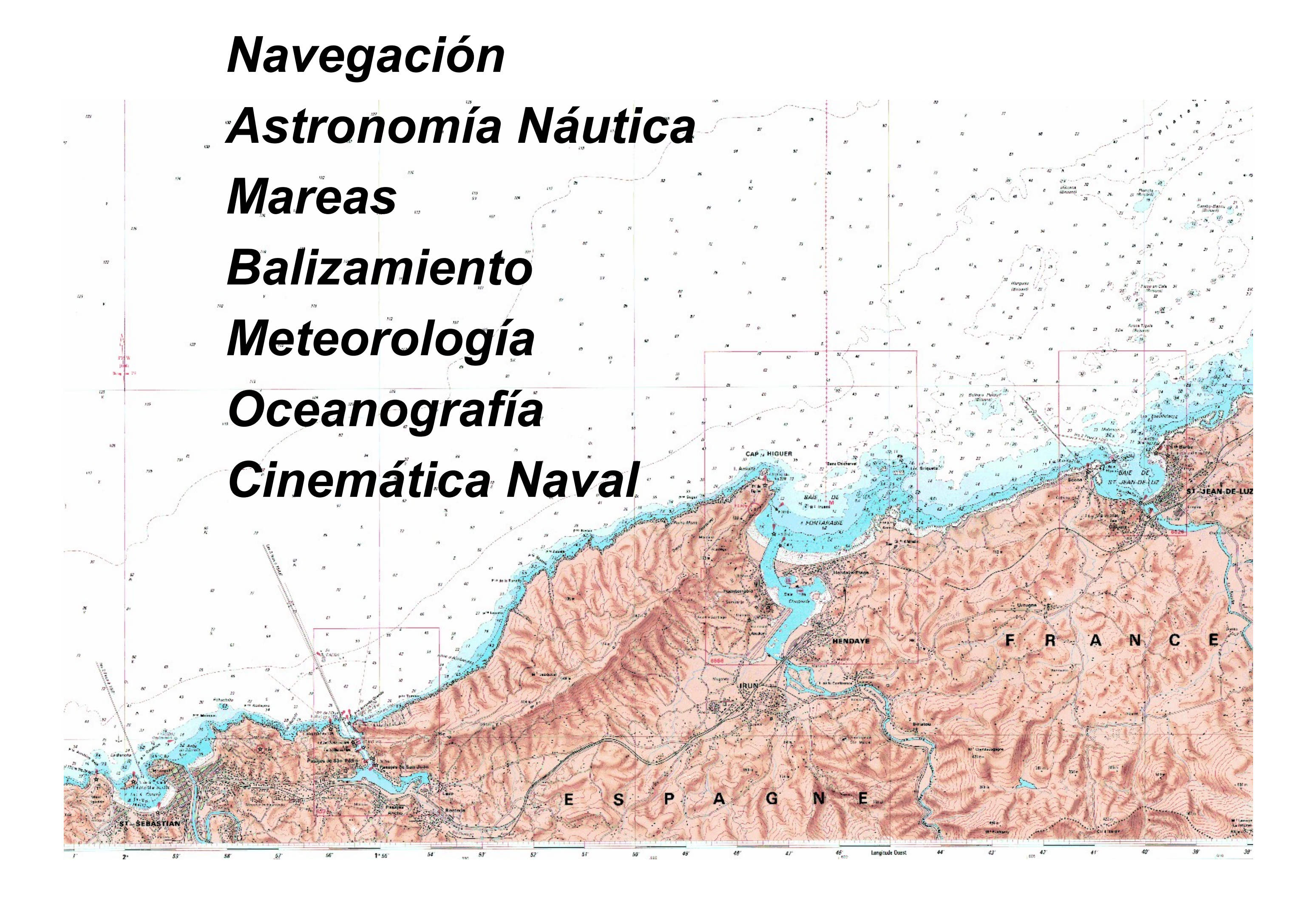
NAVIGATIONAL ALGORITHMS

Manual de Náutica

Navegación
Astronomía Náutica
Mareas
Balizamiento
Meteorología
Oceanografía
Cinemática Naval



San Sebastián – Donostia
43º 19'N 002ºW
http://sites.google.com/site/navigationalalgorithms/

La navegación, …. . Ya desde bien pequeño el mar, ¡la mar!, ha ejercido sobre mi una atracción mágica, casi misteriosa. Nací en San Sebastián, y crecí jugando entre el puerto y el castillo. Desde todos estos lugares el mar esta presente, se mirara a donde se mirase; los barcos, los pescadores y las olas rompiendo.

Nos gustaba a la cuadrilla del barrio, la parte vieja, bajar a la playa en marea baja y coger cangrejos, karrakelas y erizos de mar. Correteábamos jugando a piratas entre las txalupas amarradas en el puerto. Soñábamos con grades viajes a través el océano, navegando a islas del Caribe llenas de tesoros escondidos.

Luego aparecieron en mi vida los tebeos, (entonces se llamaban así, ahora con con más respeto comics). Disfrutaba leyendo las aventuras de Donald, Mickey y compañía; la colección Dumbo y Don Miki, sobre todo las que tenían como epicentro de la aventura los mares lejanos llenos de peligros y emociones. Tintin, Corto Maltés, y otros muchos llenaron mi cabeza de ansias de conocer mares y mundo. Cuando me atrajo la novela, conocí a los clásicos Stevenson, Melville, Conrad, London, Edgar Allan Poe, Julio Verne…, pero fueron las novelas de Pío Baroja sobre el mar las que tenían algo especial para mi, creo que por estar protagonizadas por gentes de mi tierra, y de mi querido mar Cantábrico.

Creo recordar que tenia nueve años cuando tras ahorrar varias semanas me compré mi primer libro de navegación, fue en una librería de la calle Churruca de San Sebastián: el *manual de patrón del yate* de Anabitarte, luego siguieron otros sobre navegación costera y astronómica de la editorial Noray, en la misma vieja librería hoy ya desaparecida. A partir de entonces me he encontrado con mucha bibliografía poco clara, en donde las explicaciones no entran en profundidad y tratan la resolución de los problemas de navegación como meras recetas. Y así nace este manual, de mi interés por conocer en detalle todos los aspectos sobre el tema, y ponerlos a disposición del público.

Este es un libro de navegación, así como de otras áreas del saber estrechamente relacionadas con la mar, como son, por citar algunas, la meteorología, la oceanografía, la astronomía, las mareas, las ayudas a la navegación, la seguridad a bordo, etc. Lo empecé a escribir hace ya mucho tiempo, primero en forma de apuntes, luego elaborándolo más, y poco a poco va cogiendo forma. Voy introduciendo ampliaciones y correcciones, cada vez que tengo algo de tiempo.

Espero que te sea útil.

Navigational Algorithms
San Sebastián – Donostia
43º 19'N 002ºW
Versión: 0.201110

Índice



Los capítulos: Navegación Costera, Navegación con Corriente, Mareas y Balizamiento, se podrían haber englobado todos bajo el epígrafe de *Navegación Costera.* Se han separado por claridad y para dar entidad a cada uno de ellos.

NAVIGATIONAL ALGORITHMS

Introducción a la navegación marítima



La Derrota, la Estima y la Posición

La navegación requiere del marino una serie de conocimientos y habilidades; la ciencia de la navegación se adquiere con el estudio, pero es la conjunción con la experiencia la que hace de la navegación un arte.

La principal tarea del navegante es planear cuidadosamente cada viaje, recopilando previamente información sobre la derrota a seguir: peligros, mareas, corrientes, vientos predominantes. Ya en rumbo determina la posición continuamente, en función de la información disponible, y la compara con la ruta planificada, corrigiéndola y anticipándose a los peligros existentes, ya sean debidos a la cercanía de la costa, como a una meteorología adversa.

Centrándonos en la ciencia, que es lo que se aprende en los libros, la navegación tiene por objeto principal dar solución a los dos problemas mencionados:

1. Determinar la derrota a seguir para navegar de un lugar a otro.

2. Conocer la posición sobre la superficie del mar, en todo instante de tiempo.

En navegación, al surcar los mares desde un punto de salida a otro de destino, se sigue un *proceso* de forma natural, que comprende:

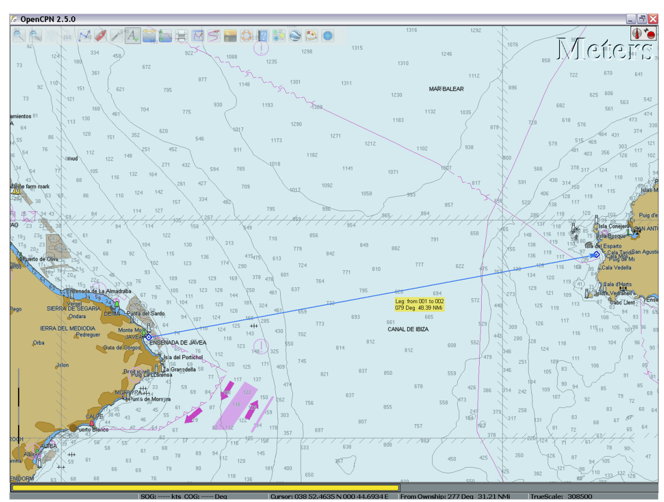
- Planificación de la ruta.
- Pilotaje, siguiendo la derrota previamente establecida.
- Posicionamiento.
- Corrección de la derrota, si es necesario.

La planificación se efectúa en la carta náutica, lo que permite tener en cuenta toda la información de interés relacionada con la derrota a seguir, esta etapa es clave para evitar imprevistos y garantizar que la travesía pueda efectuarse de forma segura. Una vez en ruta, se sigue la derrota previamente planificada y se obtiene de forma regular la posición verdadera. Si el error entre la derrota real y la planificada inicialmente debe ser tenido en cuenta, se corrige el rumbo hasta el siguiente *punto de derrota* o *waypoint,* comprobando la ausencia de peligros en este nuevo tramo de la derrota.

La planificación de travesías largas, implica la utilización de derrotas ortodrómicas en vez de loxodrómicas.

Hoy en día con las ayudas que proporciona la navegación electrónica, este proceso es continuo, y el error es corregido de forma inmediata, siendo además independiente de las condiciones de visibilidad, y en gran medida puede ser desarrollado bajo cualquier condición meteorológica.

Antaño, o cuando se prescinde de la navegación electrónica, generalmente en embarcaciones de recreo, la posición se obtiene por estima y se corrige usando la navegación costera o astronómica. En estos casos, y dependiendo en gran medida del tiempo transcurrido desde la ultima posición verdadera, el error acumulado puede llegar a ser grande.



Planificación de la derrota.

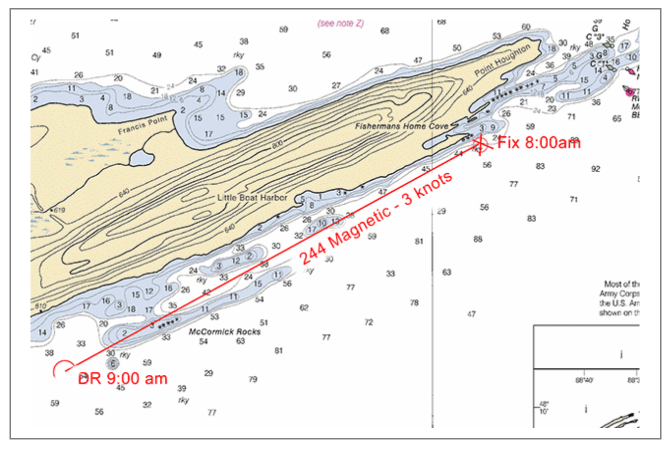
Navegación de Estima

La estima determina la posición actual a partir de una inicial conocida, generalmente una situación verdadera, llevando la distancia navegada sobre el rumbo al que se pilota. Se corrige el efecto del abatimiento debido al viento, y el de la deriva debida a las corrientes. Pero como el conocimiento de

estos fenómenos no es exacto, y además hay que añadir las desviaciones del rumbo debidas al oleaje, errores de gobierno o pilotaje y otros, la posición así obtenida es estimada y no verdadera.

Si bien por el propio significado de la palabra estima, el concepto de este tipo de navegación debería quedar suficientemente claro, en la literatura náutica en español hay un mal entendimiento de lo que supone la práctica de la "estima", llegando incluso a conceptos totalmente erróneos en los que llega a afirmarse que la estima resuelve el problema inverso al de planificación de la ruta. En cambio en la literatura en ingles el concepto queda claramente definido, refiriéndose al proceso de cálculo como "sailings", y a la estima como "dead reckonig".

Generalmente la estima se realiza de forma gráfica sobre la carta náutica, utilizando la información recogida en el cuaderno de bitácora o de navegación, (logbook), pudiéndose también resolver de forma analítica, trasladando a la carta la posición así obtenida.



La estima en la carta.

Sistemas de navegación

El sistema de navegación a elegir esta condicionado por el tipo de embarcación, su equipamiento, las condiciones, y la experiencia de la tripulación. Una de las decisiones más importantes que tiene que hacer el navegante es elegir el mejor método en cada momento, sabiendo que cada uno de ellos tiene sus ventajas y sus desventajas, y ninguno de ellos es efectivo para la totalidad de las situaciones que se puedan presentar.

Así se emplean los siguientes Sistemas:

- **Navegación Costera**. Este tipo de navegación se da en el mar a la vista de la costa, o dentro de aguas restringidas: canales, radas, bahías, estuarios y ríos, - aguas interiores y mar territorial -. utiliza referencias terrestres notables como faros o torres, para obtener una situación verdadera. Por la cercanía de peligros es indispensable situarse constantemente en base a accidentes geográficos e hidrográficos de posición conocida.
- **Navegación de Estima**. Que da una estimación de la posición.
- **Navegación Astronómica**. La posición se determina en base a la observación de los astros, - el Sol, la Luna, los planetas y las estrellas -, midiendo su altura respecto del horizonte con un sextante.
- **Navegación Electrónica**:
  - **Radio Navegación**. Usa las ondas electromagnéticas en frecuencia radio para determinar la posición en base a un amplio abanico de dispositivos electrónicos como el radiogoniómetro.
  - **RADAR**. La posición se determina con la distancia y la demora o marcación a objetos de ubicación conocida, generalmente en la costa.
  - **GPS**. Una red de satélites en orbita alrededor de La Tierra, proporcionan la información necesaria por medio de radio señales, para que el receptor pueda determinar la posición de la antena.

El Rumbo

Rumbos: definición y clases

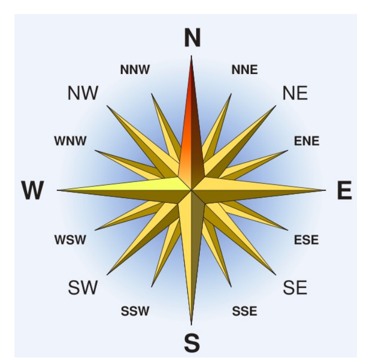
El rumbo es el ángulo horizontal que forma el meridiano que pasa por el móvil, (meridiano del lugar o local), con la trayectoria del mismo. - En navegación marítima el móvil es la embarcación -.

Según sea el meridiano de referencia, se distinguen los siguientes tipos de rumbos:

Rv, Rumbo verdadero, toma como referencia el meridiano geográfico, y se empieza a contar a partir del norte verdadero: Nv. Se mide directamente en la carta náutica.

Rm, Rumbo magnético, toma como referencia el meridiano magnético, y se mide a partir del norte magnético: Nm

Ra, Rumbo de aguja, es el marcado por el compás magnético de abordo, que lo hace desde el norte de aguja: Na

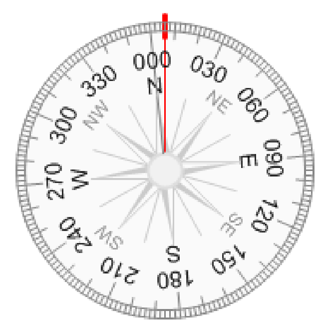


Los principales puntos cardinales en la Rosa de los Vientos.

Sistemas de medición

Existen varias formas de medir los rumbos:

En el **sistema circular**, el rumbo, R, se mide de 0º a 360º en el sentido de las agujas del reloj, es decir desde el meridiano del lugar hacia el este.



El rumbo en el sistema circular.
$0º \leq R \leq 360º$

En el **sistema cuadrantal**, el rumbo se mide desde el norte o el sur, hacia el este u el oeste. Existe por lo tanto cuatro cuadrantes, y siempre toma un valor entre 0º y 90º.

El **sistema por cuartas**, esta basado en la rosa de los vientos, que divide el horizonte en 32 rumbos.

Cada uno de los cuatro cuadrantes se divide en ocho partes iguales, llamadas cuarta:

1 cuarta = 11.25º = 11º 15’

Conversiones

La relación entre el sistema por cuartas y el circular es:

N	**Norte**	**0º**
N1/4NE	Norte cuarta al nordeste	11.25
NNE	Nornordeste	22.5
NE1/4N	Nordeste cuarta al norte	33.75
NE	Nordeste	45
NE1/4E	Nordeste cuarta al este	56.25
ENE	Estenordeste	67.5
E1/4NE	Este cuarta al nordeste	78.75
E	**Este**	**90º**
E1/4SE	Leste cuarta al sudeste	101.25
ESE	Lesudeste	112.5
SE1/4E	Sudeste cuarta al leste	123.75
SE	Sudeste	135
SE1/4S	Sudeste cuarta al sur	146.25
SSE	Sursudeste	157.5
S1/4SE	Sur cuarta al sudeste	168.75
S	**Sur**	**180º**
S1/4SW	Sur cuarta al sudoeste	191.25
SSW	Sursudoeste	202.5
SW1/4S	Sudoeste cuarta al sur	213.75
SW	Sudoeste	225
SW1/4W	Sudoeste cuarta al oeste	236.25
WSW	Oestesudoeste	247.5
W1/4SW	Oeste cuarta al sudoeste	258.75
W	**Oeste**	**270º**
W1/4NW	Oeste cuarta al noroeste	281.25
WNW	Oestenoroeste	292.5
NW1/4W	Noroeste cuarta al oeste	303.75
NW	Noroeste	315
NW1/4N	Noroeste cuarta al norte	326.25
NNW	Nornoroeste	337.5
N1/4NW	Norte cuarta al noroete	348.75

Para la conversión de un rumbo entre el sistema circular y el cuadrantal, se emplea el siguiente criterio:

x	Rumbo cuadrantal	0º ≤ x ≤ 90º
R	Rumbo circular	0º ≤ R ≤ 360º

Cuadrante	Rumbo	Cuadrantal	Circular
1º	0º ≤ R ≤ 90º	**N** x **E**	R = x
2º	90º ≤ R ≤ 180º	**S** x **E**	R = 180 - x
3º	180º ≤ R ≤ 270º	**S** x **W**	R = 180 + x
4º	270º ≤ R ≤ 360º	**N** x **W**	R = 360 - x

Cuadrante	Rumbo	Circular	Cuadrantal
1º	0º ≤ R ≤ 90º	R	**N** R **E**
2º	90º ≤ R ≤ 180º	R	**S** 180-R **E**
3º	180º ≤ R ≤ 270º	R	**S** R-180 **W**
4º	270º ≤ R ≤ 360º	R	**N** 360-R **W**

Por ejemplo:

Circular	Cuadrantal
45º	N45E
160º	S20E
210º	S30W
350º	N10W

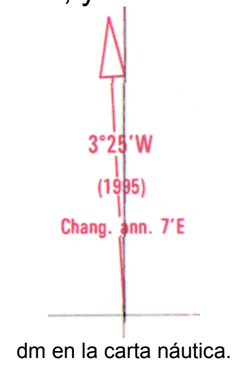
La declinación magnética

La declinación magnética o variación local, es el ángulo que forma el meridiano geográfico y el magnético en un punto de La Tierra. Se cuenta desde el Nv al Nm

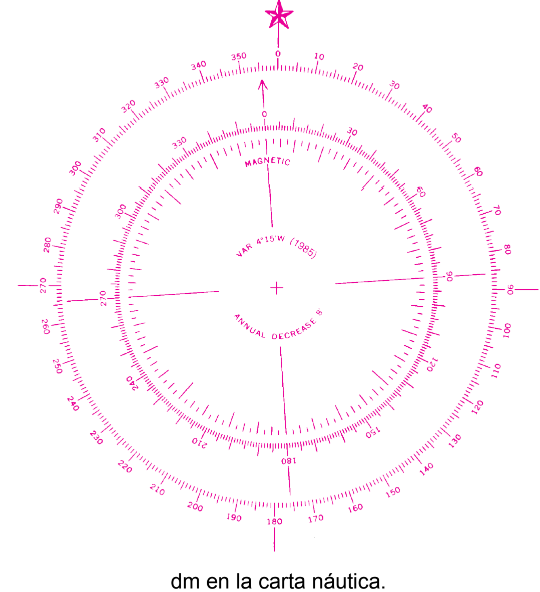
Nm al **E** del Nv ⇨ dm **NE (+)**
W **NW (-)**

Varia de un lugar a otro, y para una misma situación cambia a lo largo del tiempo.

Las cartas náuticas dan su valor para una fecha determinada, y su variación anual.

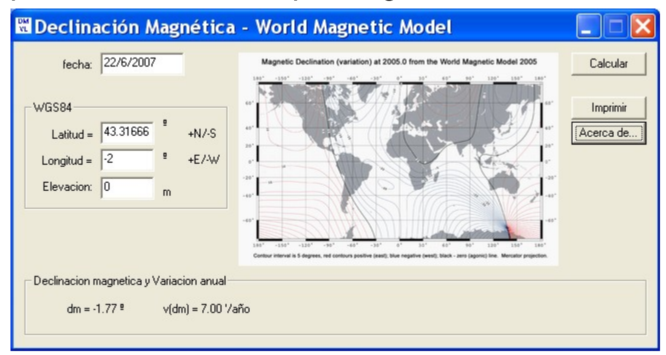


dm en la carta náutica.



dm en la carta náutica.

Actualmente la declinación magnética se calcula siguiendo un modelo matemático valido para cinco años: **World Magnetic Model**, que además proporciona todos los parámetros del campo magnético terrestre.

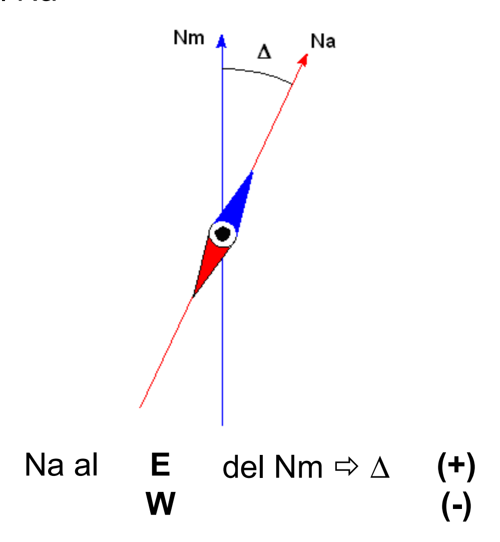


Software para calcular la dm y variación anual según el WMM.

El desvío del compás magnético

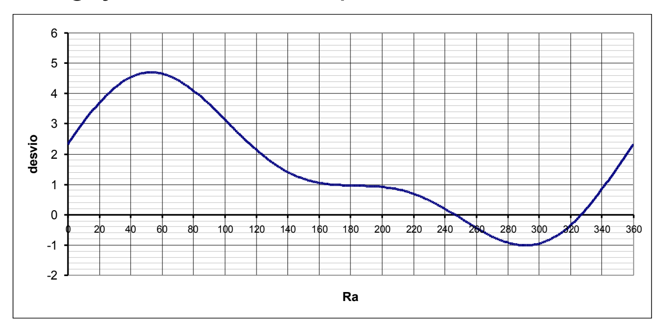
Debido a los campos magnéticos propios del buque, el compás magnético no señala el norte magnético.

El desvío Δ, es el ángulo contado desde el Nm al Na



Na al	**E** **W**	del Nm ⇨ Δ	**(+)** **(-)**

La tablilla de desvíos del barco nos proporciona para ciertos valores del rumbo de aguja el valor correspondiente del desvío.



Curva de desvío

Se puede obtener una expresión analítica de la curva de desvío a partir de la tablilla, permitiendo así calcular con precisión el valor del desvío para cualquier rumbo de aguja.

Corrección total

Es el ángulo contado desde el Nv al Na

Ct = dm + Δ

Na al E del Nv, ct (+)

Na al W del Nv, ct (-)

De forma directa se puede hallar por diversos métodos, siendo los más utilizados calcular la ct:

- Por la estrella Polar
- Por enfilación y demora simultaneas

Se suelen dar dos efectos mientras se navega, uno debido al viento que actúa sobre la obra muerta de la embarcación, y otro debido a las corrientes que actúan sobre la obra viva.

Efecto del viento: el abatimiento

Cuando se navega en compañía de viento, este desvía a la embarcación de su derrota. El viento empuja de costado al barco, haciéndole variar su velocidad, hecho que acusa la corredera.

El abatimiento es el ángulo formado por la línea proa-popa del barco con la dirección de su movimiento sobre la superficie del mar. Se mide apreciando el ángulo que forma el eje longitudinal de la embarcación con la estela que deja.

Viento por	**babor** **Estribor**	⇨Ab a	estribor babor	**(+)** **(-)**

Toda embarcación afectada por el viento sigue un rumbo de superficie

Rs = Rv + Ab

Para seguir la derrota previamente fijada en presencia de viento, habrá que corregir el rumbo cayendo a barlovento un número de grados igual a los del abatimiento provocado sobre la embarcación, de esta forma se hace coincidir el Rs con la derrota deseada.

Efecto de la corriente: la deriva

Las corrientes de agua hacen que el barco siga un rumbo y velocidad efectivos que no acusan el compás ni la corredera.

El rumbo efectivo es el que la embarcación sigue respecto al fondo: Rf, rumbo de fondo, (COG –Course Over Ground-), y se halla por suma vectorial del vector velocidad del barco y el vector de corriente, caracterizado por su intensidad horaria, Ih, y su rumbo, Rc:

- Barco: Rs Vb
- Corriente: Rc, Ih
- Resultante: Rf, Ve

$$\vec{V}_e = \vec{V}_b + \vec{I}h$$

en módulo y dirección queda:

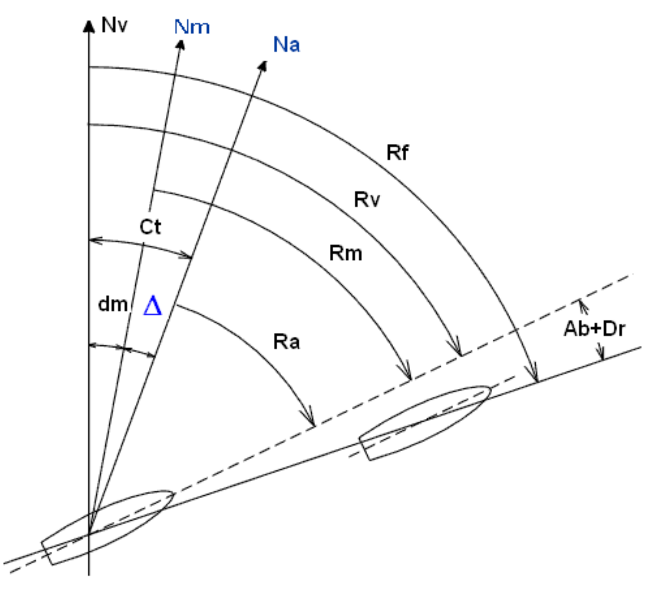
(Ve, Rf) = (Vb, Rs) + (Ih, Rc)

La deriva, Dr, es el ángulo que sumado al rumbo verdadero, o al de superficie si hay viento, da el rumbo de fondo.

Rf = Rv + Ab + Dr

En *el capítulo dedicado a las corrientes marinas se amplia el tema.*

Relaciones



Relación entre los distintos rumbos.

En la carta náutica se obtiene: Rv ó Rf

El compás magnético mide: Ra

Rv = Rm + dm

Rm = Ra + Δ

Rv = Ra + ct = Ra + dm + Δ

Rs = Rv + Ab

Rf = Rv + Ab + Dr

Medición del rumbo: el compás

El compás magnético da el rumbo de aguja, y es la forma tradicional de medir el rumbo.



Compás magnético.

El *girocompás* basado en el giroscopio proporciona directamente en rumbo verdadero.

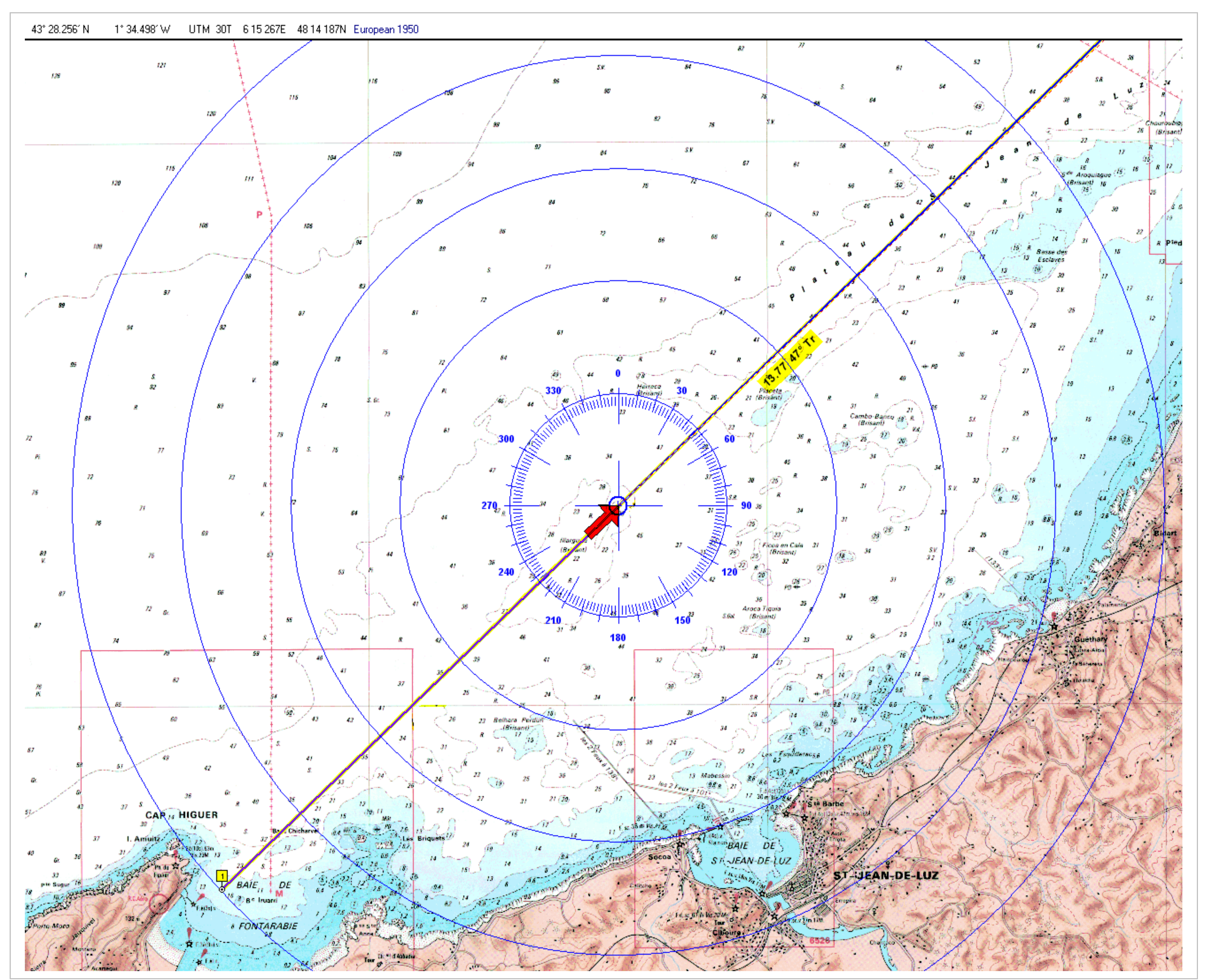
Otros tipos son el *Flux Gate* que es un compás electrónico, y el *astrocompás* que obtiene la dirección del norte verdadero al observar un astro conocido, en función de las coordenadas.

Están apareciendo modernos compases basados en diversas tecnologías:

- *FOG* – Fibre optic Compass
- *GPS compass* - basado en dos antenas GPS

El rumbo en la carta náutica

El rumbo se traza o se mide en la carta náutica utilizando un transportador:



La derrota y el rumbo en la carta náutica.

La Carta náutica

Situación de un punto: Latitud y Longitud

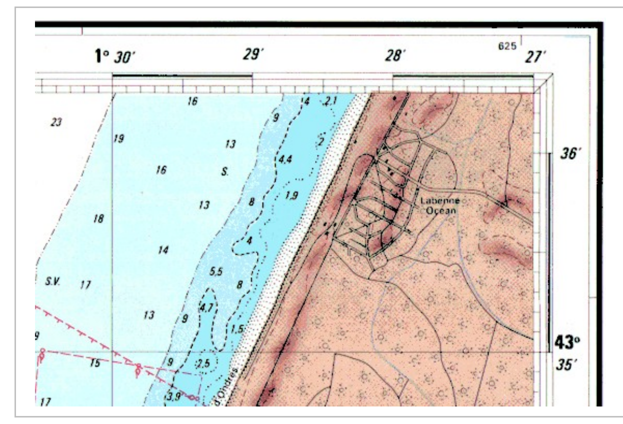
Un punto sobre la superficie de La Tierra queda determinado por dos coordenadas:

Latitud: es el ángulo contado desde el ecuador sobre un meridiano en dirección norte o sur. En la carta se mide en la escala vertical.

N/S $0º \le |B| \le 90º$

Longitud: es el ángulo contado desde el meridiano de Greenwich sobre el ecuador en dirección este u oeste. En la carta se mide en la escala horizontal.

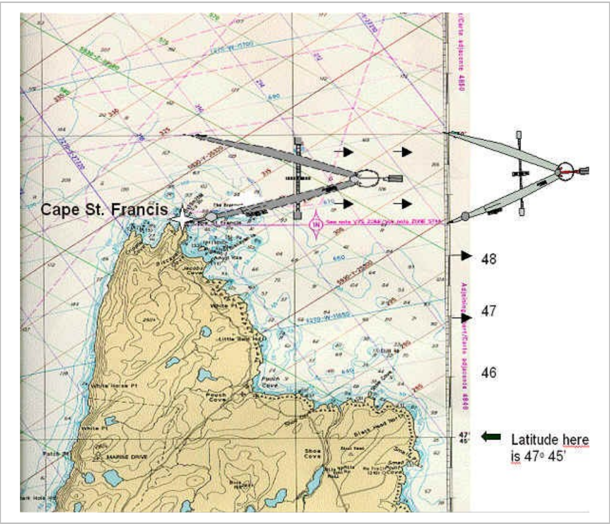
E/W $0º \le |L| \le 180º$



Coordenadas: 43º35'N 001º30'W.

Medición de distancias

La distancia se mide en la carta sobre los meridianos, en la escala de las latitudes, en el lugar de la medida, lo más cerca de la latitud media correspondiente a los extremos de la medida.



Medición de distancias en la carta náutica.

- Si la distancia es muy grande se divide en segmentos para ser medidos en el lugar del meridiano de igual latitud que la distancia a medir.
- Si la distancia está sobre un paralelo, se mide en el meridiano de forma que los extremos del compás lo promedien.

Si se precisa mayor precisión, es necesario calcularla por las ecuaciones de loxodrómica. La forma más sencilla en función de la diferencia de latitud y del rumbo es utilizar la ecuación:

$$d = \frac{\Delta B}{\cos R} \quad \text{para } R \neq E \text{ y } R \neq W$$

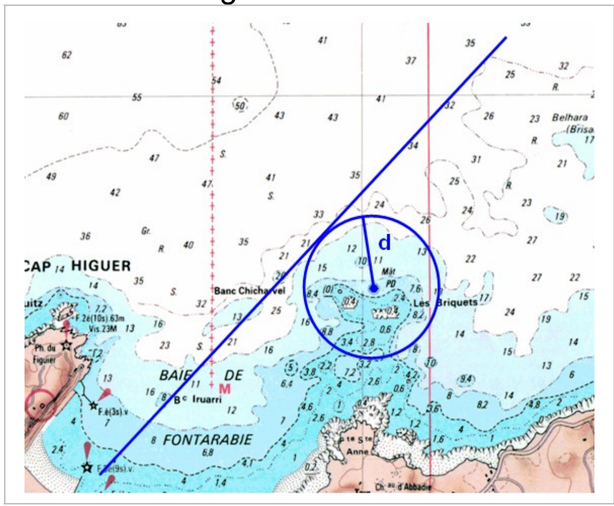
1 milla náutica = 1 minuto de arco de meridiano = 1852 m

Rumbo para pasar a una distancia determinada de la costa o peligro

En determinadas ocasiones es preciso alejarnos en nuestra derrota de puntos peligrosos para la navegación como bajíos, pecios, escollos, etc.

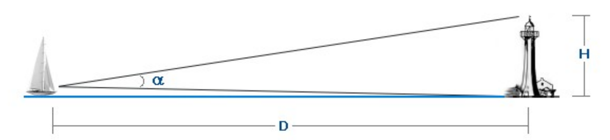
Para ello se traza en la carta una circunferencia con radio la distancia de seguridad elegida y centro el peligro o punto a evitar.

El rumbo se traza desde la posición de la embarcación tangente a esa circunferencia.



Rumbo para evitar los bajos con un margen de seguridad d.

Distancia a un objeto de altura conocida por ángulo vertical



- D = distancia al objeto
- α = ANG_V(nivel mar, parte superior objeto). Es el ángulo vertical subtendido por el objeto de altura conocida, situado a una distancia determinada dentro del horizonte visible del observador.
- H = altura del objeto sobre el nivel del mar

La solución se basa en resolver el triángulo rectángulo plano de la figura, bajo las siguientes hipótesis simplificatorias:

1. el ojo del observador esta al nivel del mar.
2. la superficie entre el observador y el objeto observado es plana.
3. la refracción atmosférica es despreciable.
4. la línea de agua en el objeto esta bajo la vertical de su extremo superior.

$$D = \frac{H}{\tan\alpha}$$

Errores:

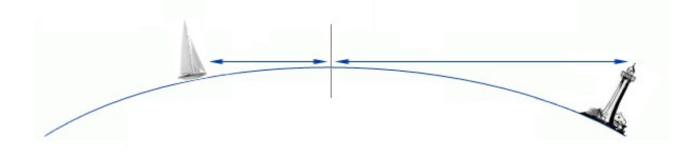
- El error debido a la altura del ojo del observador, no excede el 3% de la distancia para ángulos α < 20º y alturas del ojo menores que 1/3 de H
- El error debido a que la línea de agua no este debajo del extremo superior del objeto observado, no excede del 3% de la distancia para alturas del ojo menores que 1/3 de H, y separaciones entre la línea de agua y la base del objeto menores que 1/10 de D
- Los errores debidos a la curvatura de La Tierra y a la refracción en la atmósfera, son despreciables en los casos de interés práctico.

La medida del ángulo vertical se realiza con el sextante de la siguiente manera:



Distancia a un objeto que aparece en el horizonte

El alcance geográfico es la máxima distancia a la cual la curvatura de La Tierra permite que una luz sea vista, estando el ojo del observador a una altura determinada, sin considerar la intensidad lumínica de la luz. Depende de la altura, tanto de la luz como del ojo.

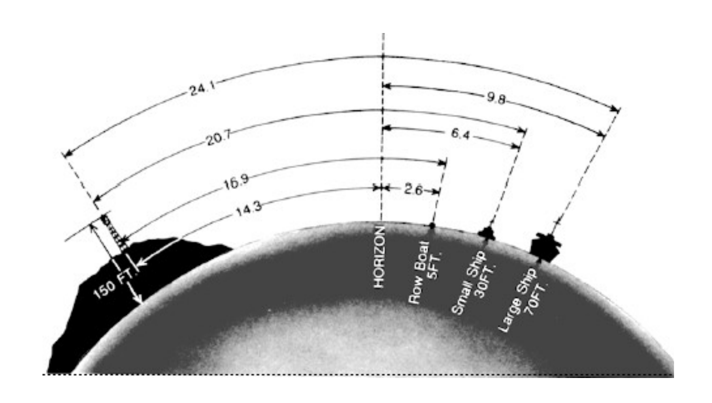


$$d = 2.1174 \cdot (\sqrt{H} + \sqrt{e})$$

- d - alcance geográfico [millas náuticas]
- H - altura de la luz sobre el nivel del mar [m]
- e - altura del ojo del observador sobre el nivel del mar [m]

A la noche se puede obtener la posición verdadera en el instante que la luz de un faro aparece en el horizonte; combinando su demora y su alcance geográfico:

$$s/v = D_{Faro} \cap d_{Faro}$$



Alcance RADAR

Viene dada por la ecuación:

$$d = 2.23 \cdot (\sqrt{H} + \sqrt{A})$$

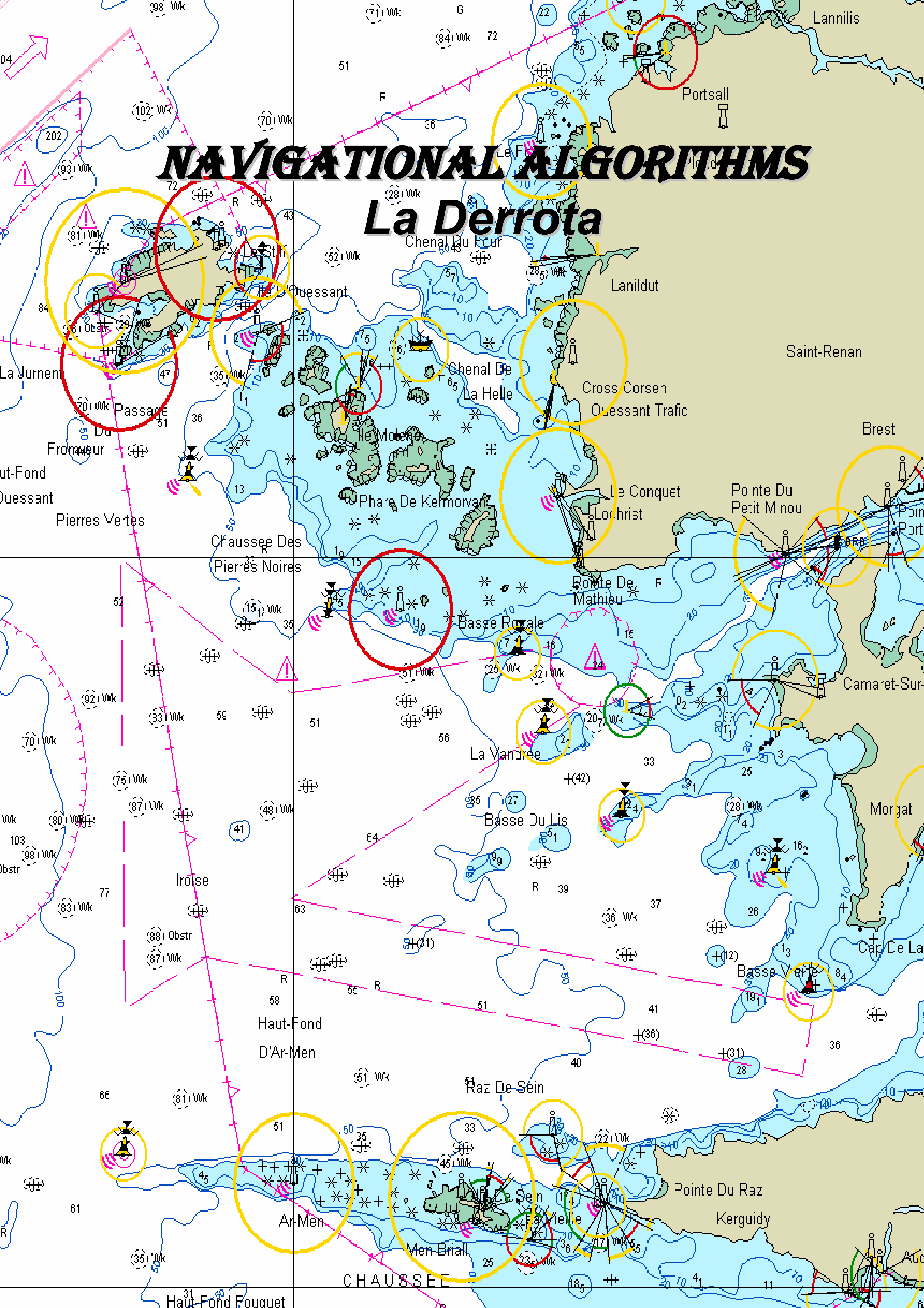
- d – alcance RADAR [millas náuticas]
- H - altura del objeto [m]
- A - altura de la antena del RADAR [m]

Se puede obtener la posición verdadera combinando la demora RADAR y la distancia RADAR simultaneas al mismo objeto que aparece en la pantalla:

$$s/v = D_{RADAR} \cap d_{RADAR}$$

NAVIGATIONAL ALGORITHMS

La Derrota



Índice

¿Cómo navegamos desde nuestra posición actual hasta el punto de destino?, ¿A que rumbo debemos pilotar, y cual es la distancia que nos separa de nuestra llegada? Esta sección responde a estas preguntas y hace un repaso de las diversas técnicas analíticas para resolver los correspondientes problemas.

Se aborda la derrota loxodrómica, su forma simplificada de cálculo basada en la latitud media, y la derrota ortodrómica y mixta. La ortodrómica se resuelve empleando la trigonometría esférica y el análisis vectorial.

Por ultimo se añaden unos ejemplos ilustrativos, y se adjuntan unas tablas de latitudes aumentadas, de ayuda en la resolución de los problemas asociados a la loxodrómica.

San Sebastián – Donostia
43º 19’N 002ºW
Versión: 201109

La derrota

En navegación, al trasladarnos de un lugar a otro se puede hacer a rumbo constante, (derrota loxodrómica), o siguiendo lo más fielmente posible un círculo máximo, que marca la distancia más corta entre dos puntos de la esfera terrestre, (derrota ortodrómica).

Generalmente se distinguen dos tipos de problemas:

1. *Directo*: consistente en hallar la situación de llegada, a partir de una de salida, cuando se navega una distancia a un rumbo dado.
2. *Inverso*: calcula el rumbo y la distancia entre una posición de salida y otra de llegada.

Estos problemas se resuelven usando diversas técnicas y aproximaciones. Existen métodos gráficos sobre la carta náutica, y analíticos que no necesitan a priori de ella. La Tierra se puede considerar como una esfera, como un elipsoide de revolución, o como un geoide, (superficie equipotencial en el campo de la gravedad terrestre).

Asumiendo un modelo esférico de La Tierra, el error cometido para grandes distancias, (varios miles de millas), es de unas pocas millas, que generalmente es muy inferior al error debido a la deriva, a los errores de gobierno y al abatimiento.

Para distancias no muy grandes se puede utilizar sin cometer errores considerables, y despreciando los incrementos de distancia, el método más simple, que utiliza un modelo esférico de La Tierra y considera la diferencia en longitud entre dos puntos, proporcional a la latitud media.

Variables

Las variables generales usadas en los cálculos de derrotas son las siguientes:

B1 Latitud del punto de partida
L1 Longitud del punto de partida
B2 Latitud del punto de destino
L2 Longitud del punto de destino
d Distancia entre 1 y 2
R Rumbo
ΔB Diferencia de latitud
ΔL Diferencia de longitud

Se consideran la latitud Norte y la longitud Este, como positivas.

	Intervalos
B	-90º (S) <= B <= +90º (N)
L	-180º (W) <= L <= +180º (E)
R	0º <= R <= 360º
d	d > 0

Latitud Media

Variables

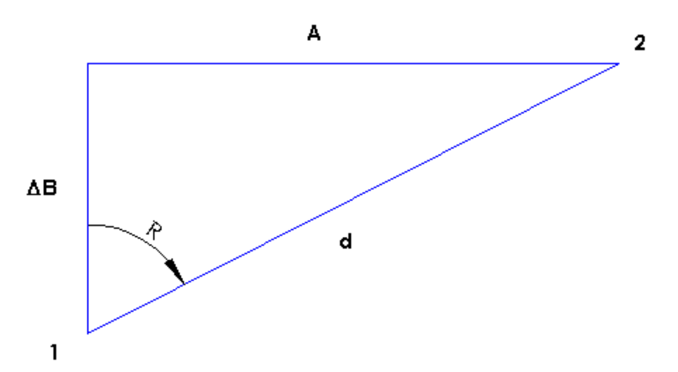
A Apartamiento
Bm Latitud media

Este método es una aproximación a la derrota loxodrómica, que simplifica los cálculos, consiguiendo un error aceptable en navegación dentro de unos ***Límites de aplicación***:

- $B_m < 60º$
- d < 200 nm
- $\Delta B < 5º$

Se utiliza sobre todo cuando se navega por estima, en donde si se obtiene una situación verdadera que corrija la estimada, dentro de un intervalo de tiempo aceptable, el error obtenido en esta simplificación es totalmente despreciable.

Se basa en la resolución del triángulo plano de la figura, y en la relación entre el apartamiento y la diferencia de longitud:



Relación entre el apartamiento y la diferencia de latitud.

- $\Delta B = d \cos R$
- $A = d \sin R$
- $\Delta L = A / \cos B_m$
- $B_m = (B1 + B2)/2$

Posición de llegada

$\Delta B = d \cos R$
$A = d \sin R$
$\Delta L = A / \cos Bm$

$B2 = B1 + d \cos R$
$L2 = L1 + d \sin R / \cos Bm$

Rumbo y Distancia entre dos puntos

$\Delta B = B2 - B1$
$\Delta L = L2 - L1$
$A = \Delta L \cos Bm$

$$d = \sqrt{\Delta B^2 + A^2}$$

$R = \arctan(A/\Delta B)$

d = d/60 [nm]
if(R<0) R=R+360º

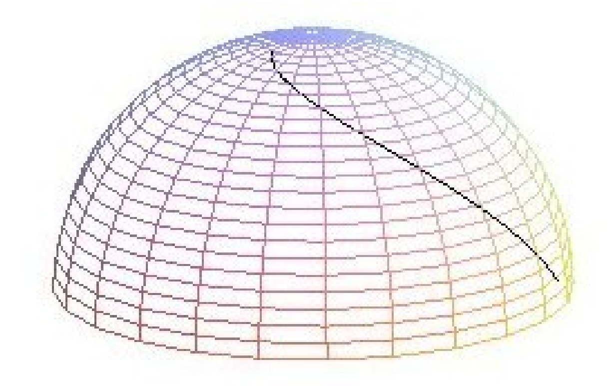
Ejemplo

(B1, L1) = (43º 40.5'N 02º 0.00'W)
(B2, L2) = (45º 36.2'N 03º 15.5'W)

d = 127.56 millas náuticas
R = 335.09º

Derrota Loxodrómica

Cuando se navega a rumbo constante R, se sigue una loxodrómica sobre la superficie del mar. Esta línea corta a todos los meridianos bajo el mismo ángulo R.



Loxodrómica sobre la esfera terrestre.

En la *carta mercatoriana*, la derrota loxodrómica se traza como una recta.



Loxodrómica sobre la carta mercatoriana.

Resuelve analíticamente los problemas de derrota trazados en una carta náutica mercatoriana. Utiliza la diferencia de partes meridionales, **m = ΔM**, para el cálculo de la diferencia de longitud, **ΔL**, en función del rumbo, **R**:

$$\tan R = \Delta L / m$$

Según esto la ecuación de la Loxodrómica queda:

$$L2 = L1 + m \tan R$$

La distancia navegada se obtiene en función de la diferencia de latitud, **ΔB**, y del rumbo:

d = ΔB/cos R

Partes Meridionales o Latitud aumentada

Para calcular la latitud aumentada correspondiente a una latitud, es necesario integrar la distancia del ecuador al paralelo de dicha latitud, a lo largo del meridiano.

En un elipsoide de eje mayor **a**, eje menor **b** y de excentricidad **e**, se tiene:

$$L_2 = L_1 + \tan R \int_{B1}^{B2} \frac{1 - e^2}{\cos B(1 - e^2 \sin^2 B)} \cdot dB$$

$$M(B) = a \int_0^B \frac{1 - e^2}{(1 - e^2 \sin^2 B)^{3/2}} \cdot dB$$

Integral que se puede aproximar por un desarrollo en serie, en donde la precisión obtenida depende del grado de la expansión:

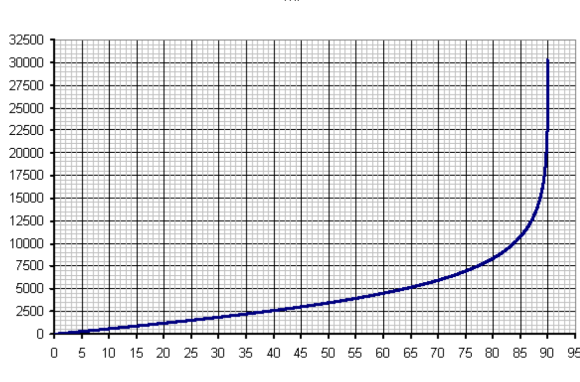
$$M = a \log_e 10 \log \tan\left(45 + \frac{L}{2}\right) - a\left(e^2 \sin L + \frac{e^4}{3} \sin^3 L + \frac{e^6}{5} \sin^5 L + \ldots \right),$$

Y de forma exacta:

$$M(B) = a \cdot \text{Ln}\left(\tan(45 + B/2) \left(\frac{1 - e \cdot \sin B}{1 + e \cdot \sin B} \right)^{e/2} \right)$$

Tomando como modelo de La Tierra el elipsoide ***WGS84***, (World Geodetic System), el algoritmo de cálculo es el que sigue:

```
a = 6378137/1852
f = 1.0/298.257223563
e = sqrt(2*f-SQ(f))
M1 = log(10)*log10(tan( 45+B/2) )
M2 = SQ( eoe )*sin( B )
M3 = pow( eoe, 4 )/3*pow( sin( B ), 3)
M4 = pow( eoe, 6 )/5*pow( sin( B ), 5)
M = a*(M1-M2-M3-M4)
```



Curva de M frente a la latitud

Si se toma un ***modelo esférico*** de La Tierra, los dos ejes son iguales:

Ejes: a = b = R_T = 360*60/(2π) [millas náuticas]

Achatamiento: f=1-b/a=0

excentricidad: e = 0

Con estas simplificaciones la integral tiene solución exacta.

$$M = a \int_0^B \sec B \cdot dB$$

M = 21600/(2π)*Ln(tan(45+B/2))

Expresiones equivalentes utilizando las funciones hiperbólicas son:

M = 21600/(2π)*arctanh(sin B)

M = 21600/(2π)* arcsinh(tan B)

Casos singulares

Si se navega siguiendo un paralelo o un meridiano el rumbo toma un valor en el cual las funciones trigonométricas se anulan o se hacen infinitas, y las diferencias de latitud o de longitud toman valores singulares:

	R [º]	sin R	cos R	tan R	ΔB	ΔL
N	0	0	1	0	d	0
E	90	1	0	∞	0	d/cos B
S	180	0	-1	0	-d	0
W	270	-1	0	∞	0	-d/cos B

Posición

Datos necesarios:

- Posición de salida
- Rumbo
- Distancia navegada.

Latitud de Llegada:

```
ΔB = d/60 * COS( R )
B2 = B1 + ΔB
```

Longitud de Llegada:

```
if( R == 90 || R == 270 )
  ΔL = d/60 * sin R/cos B
else {
  m = (M(B2)-M(B1))/60
  ΔL = m * tan R
  }
L2 = L1 + ΔL
```

Rumbo y Distancia

Datos necesarios:

- Posición de salida
- Posición de llegada

```
ΔB = B2 - B1
ΔL = L2 - L1
m = (M(B2)-M(B1))/60
```

Rumbo:

```
if( abs( m ) > 0 ) {
  R = atan( ΔL/m )
  if( m >= 0 AND ΔL >= 0 )
    R = R
  else if( m <= 0 AND ΔL >= 0 )
    R = R + 180°
  else if( m <= 0 AND ΔL <= 0 )
    R = R + 180°
  else if( m >= 0 AND ΔL <= 0 )
    R = R + 360°
  }
// ΔB = 0
else if( ΔL > 0 )
  R = 90°
else if( ΔL < 0 )
  R = 270°
```

Distancia (millas náuticas):

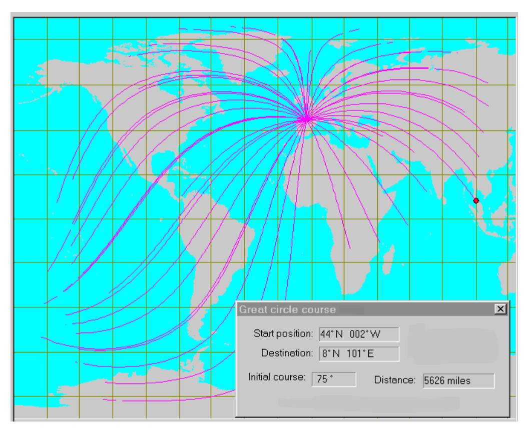
```
if( R == 90 OR R == 270 )
  // cos R = 0
  d = |ΔL*cos B1|
else
  d = ΔB / cos R
d = d * 60
```

Derrota Ortodrómica

Variables

D Distancia Ortodrómica entre 1 y 2
Ri Rumbo inicial





Ortodrómicas desde una misma posición a diversos destinos

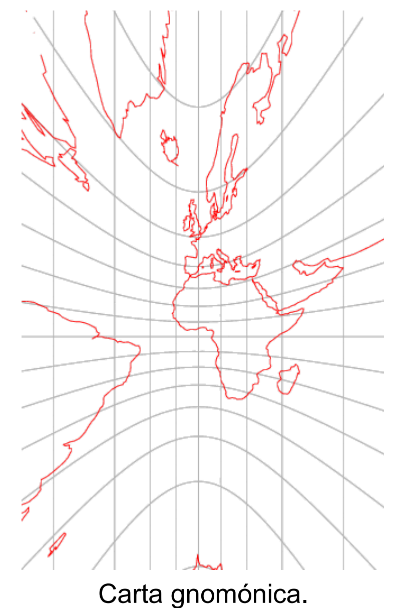
La **derrota Ortodrómica** resuelve el problema del rumbo y la distancia, a lo largo de un círculo máximo entre el punto de partida y el de llegada. Es el camino más corto entre dos puntos de una esfera, por lo que para distancias grandes el ahorro en el tiempo de navegación es importante.

Supone por lo tanto un modelo esférico de La Tierra.

Recibe el nombre de economía o **ganancia** de una derrota entre dos puntos, la diferencia de distancias que resulta de navegar por loxodrómica y por ortodrómica. Esta distancia crece al:

- Crecer la latitud
- Al decrecer la diferencia de latitud entre los dos puntos
- Al crecer la diferencia de longitud

Con este tipo de derrotas se utilizan las cartas náuticas de *proyección gnomónica*, ya que en ellas cualquier recta que se trace, es un arco de círculo máximo. Por lo tanto para trazar una derrota ortodrómica en ella basta con unir con una recta los puntos inicial y final.



Carta gnomónica.

La navegación que sigue una derrota ortodrómica tiene el inconveniente de que el rumbo es cambiante a lo largo de esta. En la práctica se divide la derrota Ortodrómica en tramos entre los cuales se navega por una loxodrómica, en la que el rumbo es constante: **Sistema de navegación por puntos**.

Un **círculo máximo** es generado por la intersección entre la superficie de una esfera y un plano que pase por su centro, (en realidad se trata de una circunferencia). Es el mayor círculo que puede ser trazado en la superficie de una esfera, y el arco que pasa por dos puntos representa la distancia más corta entre estos dentro de la superficie esférica.

Cualquier par de puntos están unidos por un solo círculo máximo, salvo los puntos correspondientes a las antípodas, (diametralmente opuestos; separados 180º), ya que están conectados por un número infinito de círculos máximos, (el rumbo y la distancia entre un punto y su antípoda no están definidos).

Todo circulo máximo bisecciona a otro. A excepción del ecuador, todo círculo máximo tiene una mitad en el hemisferio norte y la otra en el sur.

Todo par de puntos pertenecientes a un círculo máximo y separados 180º, tienen la misma latitud en valor, y de distinto nombre, y están separados 180º en longitud.

El punto de máxima latitud recibe el nombre de **vértice**, para cada círculo máximo hay dos vértices, uno en cada hemisferio y separados 180º en longitud.

Se llaman **nodos** a los dos puntos de cruce del círculo máximo con el Ecuador, en ellos la latitud es $B_0 = 0º$, y la longitud esta separada de los vértices 90º: $L_0 = L_v \pm 90º$

Rumbo inicial y Distancia entre dos puntos

$\Delta L = L2 - L1$

$-180º <= \Delta L <= 180º$

$D = acos(\sin B1 \sin B2 + \cos B1 \cos B2 \cos \Delta L)$

$D = 60*D$ [millas náuticas]

$$Ri = acos\left(\frac{\sin B2 - \cos D \sin B1}{\sin D \cos B1}\right)$$

If($\Delta L < 0$) Ri = 360- Ri

(B1,L1, D, Ri) ⇨ (B2,L2)

$cD = 90-D/60$

$B2 = 90º - acos(\sin B1 \sin cD + \cos B1 \cos cD \cos Ri)$

$$\Delta L = a\cos\left(\frac{\sin cD - \cos(90º-B2) \sin B1}{\sin(90º-B2) \cos B1}\right)$$

$L2 = L1 + \Delta L$

Ecuación de la latitud para la longitud media

Considerando una derrota ortodrómica desde el punto (B1, L1) al (B2, L2), la latitud Bm en el punto de longitud media Lm es [10]:

$$Lm = (L1 + L2) / 2$$

$$\tan B_m = \frac{\tan B_1 + \tan B_2}{2\cos(\frac{L_2 - L_1}{2})}$$

Empleando esta ecuación es posible hallar de forma sencilla las coordenadas de los puntos intermedios de la derrota ortodrómica, dividiendo cada tramo en dos partes iguales y calculando Lm y Bm para cada subtramo de forma recursiva.

Ejemplo

(B1, L1) = (43º 40.5'N 02º 0.00'W)
(B2, L2) = (45º 36.2'N 03º 15.5'W)

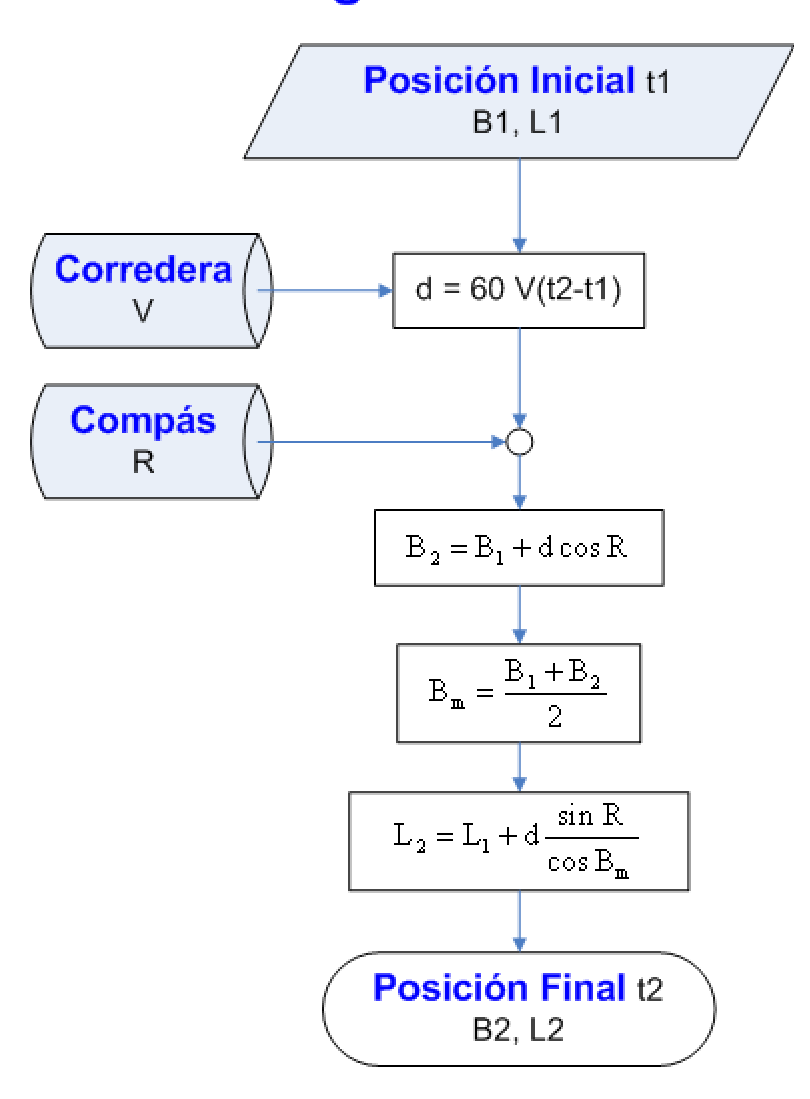
D = 127.56 millas náuticas
Ri = 335.09º

Derrota Mixta

Para limitar la latitud máxima en la derrota ortodrómica, y evitar así los hielos o el mal tiempo cerca de los polos, se utiliza una **derrota mixta**.

Se navega por ortodrómica hasta el paralelo de latitud extrema fijado, por loxodrómica a través de este paralelo hasta encontrar de nuevo el círculo máximo y de nuevo por ortodrómica hasta el punto de destino.

Estima de la posición



Ejemplos

Comparación entre los distintos tipos de derrotas:

Ejemplo 1 pg 368 Bowditch

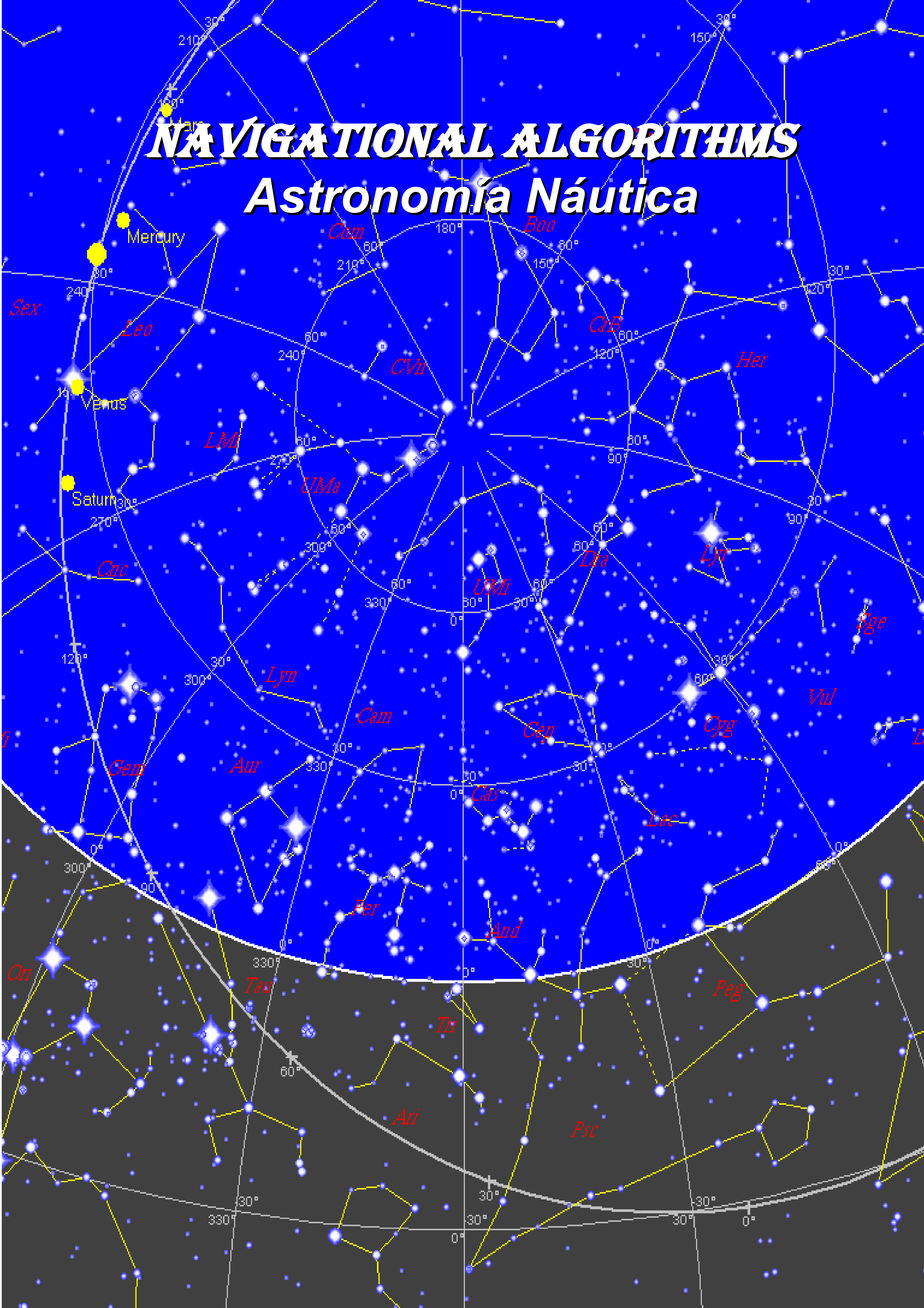
B1 = 32.245 º
L1 = -66.4817 º
B2 = 36.9783 º
L2 = -75.7033 º

	R	d
Latitud Media	301.9501	536.6754
Loxodrómica	301.8474	538.2231
Ortodrómica	304.5122	536.2734

Ejemplo 2 pg 368 Bowditch

B1 = 75.5283 º
L1 = -79.145 º
R = 155 º
d = 263.5 mn

	B2	L2
Latitud Media	71.5481	-72.5954
Loxodrómica	71.5481	-72.5672
Ortodrómica	71.457	-73.3044


NAVIGATIONAL ALGORITHMS
Astronomía Náutica
Mercury
Venus
Saturn
Sex
Leo
LMi
Cnc
Gem
Aur
Lyn
Cam
UMa
CVn
Com
Boo
CrB
Her
Dra
UMi
Lyr
Sge
Vul
Cyg
Cep
Cas
Lac
Per
And
Tau
Tri
Ari
Psc
Peg
Ori

Índice

San Sebastián – Donostia
43º 19'N 002ºW
Versión: Enero 2008

El Universo

Materia, energía, espacio y tiempo, todo lo que existe forma parte del Universo. Es inmenso, pero no infinito.

El Universo contiene galaxias, cúmulos de galaxias y estructuras de mayor tamaño llamadas supercúmulos, además de materia intergaláctica. Todavía no se sabe con exactitud su magnitud.

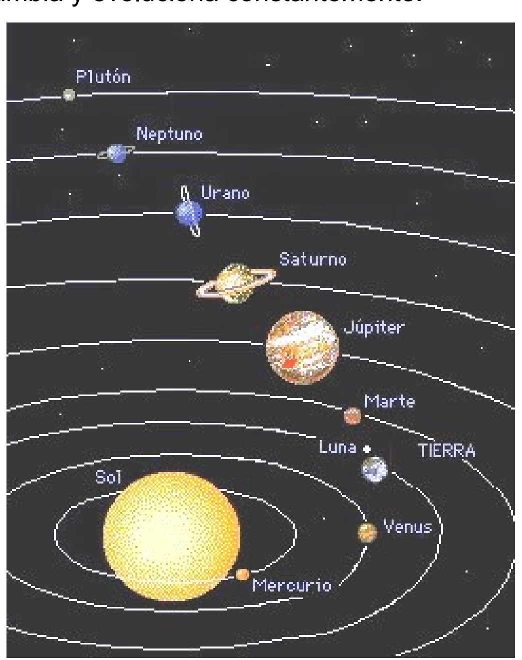
La materia no se distribuye de manera uniforme, sino que se concentra en lugares concretos: galaxias, estrellas, planetas, ... Sin embargo, el 90% del Universo es una masa oscura, que no podemos observar, el universo es, sobre todo, espacio vacío

El Sistema Solar

Entre los miles de estrellas que forman nuestra galaxia, la Vía Láctea, hay una de tamaño mediano, situada en uno de los brazos de la espiral: el Sol.

Nuestro sistema solar esta constituido por el Sol y los planetas (Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.), y otros cuerpos que giran en órbitas a su alrededor: numerosos cometas, asteroides, y meteoroides. Incluye además los satélites de los planetas y el medio interplanetario.

Se formó hace unos 4.650 millones de años y, lejos de permanecer estable, se trata de un sistema dinámico que cambia y evoluciona constantemente.



El Sol

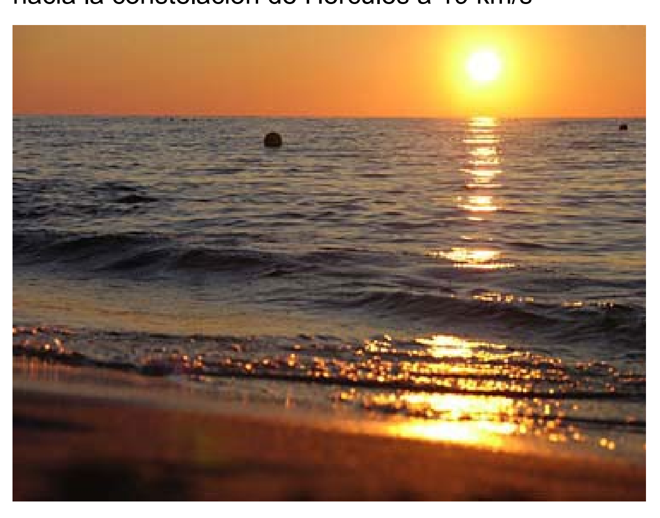
Es la estrella más cercana a la Tierra y el mayor elemento del Sistema Solar. Las estrellas son los únicos cuerpos del Universo que emiten luz. El Sol es también nuestra principal fuente de energía, que se manifiesta, sobre todo, en forma de luz y calor.

El Sol contiene más del 99% de toda la materia del Sistema Solar. Ejerce una fuerte atracción gravitatoria sobre los planetas y los hace girar a su alrededor.

Se formó hace 4.650 millones de años y tiene combustible para 5.000 millones más, actualmente es una enana amarilla. Después, comenzará a hacerse más y más grande, hasta convertirse en una gigante roja. Finalmente, se hundirá por su propio peso y se convertirá en una enana blanca, que puede tardar un trillón de años en enfriarse.

El periodo de rotación de la superficie del Sol va desde los 25 días en el ecuador hasta los 36 días cerca de los polos. Más adentro parece que todo gira cada 27 días.

El Sol, y todo el Sistema Solar, gira alrededor del centro de la Vía Láctea, nuestra galaxia. Da una vuelta cada 200 millones de años. Ahora se mueve hacia la constelación de Hércules a 19 km/s



Datos

Masa (kg)	1.989e+30
Masa (Tierra = 1)	332830
Radio ecuatorial (km)	695000
Radio ecuatorial (Tierra = 1)	108.97
Densidad media (g/cm^3)	1.410
Período Rotacional (días)	25-36
Velocidad de escape (km/s)	618.02
Luminosidad (ergios/s)	3.827e33
Magnitud (Vo)	-26.8
Temperatura media en la superficie	6000°C
Edad (miles de millones de años)	4.5
Gravedad superficial en la fotosfera	274 m/s^2
Componentes químicos principales	
Hidrógeno	92.10%
Helio	7.80%
Oxígeno	0.0610%
Carbono	0.0300%
Nitrógeno	0.0084%
Neón	0.0076%
Hierro	0.0037%
Silicio	0.0031%
Magnesio	0.0024%
Azufre	0.0015%
Otros	0.0015%

La Tierra

⊕La Tierra es el tercer planeta del Sistema Solar, considerando su distancia al Sol, y el quinto de ellos según su tamaño. Es el único planeta del universo que se conoce en el que exista y se origine la vida. La Tierra se formó al mismo tiempo que el Sol y el resto del Sistema Solar, hace 4.570 millones de años. Posee un único satélite natural, la Luna. El sistema Tierra-Luna es bastante singular debido al gran tamaño relativo del satélite.

El 71% de su superficie está cubierta de agua. Es el único planeta del sistema solar donde el agua puede existir permanentemente en estado líquido en la superficie, circunstancia esencial para la vida. La Tierra es el único de los cuerpos del Sistema Solar que presenta una tectónica de placas activa, esto, unido a la erosión provocada por el agua , y la actividad biológica, ha hecho que la superficie de la Tierra sea muy joven eliminando casi todos los restos de cráteres, que marcan muchas de las superficies del Sistema Solar.



Datos

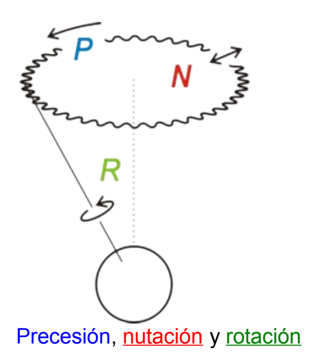
Masa (kg)	5.97e+24
Masa (Tierra = 1)	1.0000e+00
Radio ecuatorial (km)	6378.14
Radio ecuatorial (Tierra = 1)	1.0000e+00
Densidad media (g/cm³)	5.515
Distancia media al Sol (km)	149600000
Distancia media al Sol (Tierra = 1)	1.0000
Periodo rotacional (días)	0.99727
Periodo rotacional (horas)	23.9345
Periodo orbital (días)	365.256
Velocidad orbital media (km/s)	29.79
Excentricidad orbital	0.0167
Inclinación del eje	23.450
Inclinación orbital	0.0000
Velocidad de escape ecuatorial (km/s)	11.18
Gravedad superficial ecuatorial (m/s²)	9.78
Albedo geométrico visual	0.37
Temperatura superficial media	15 ºC
Presión atmosférica (bares)	1.013

Composición atmosférica

Nitrógeno	77%
Oxígeno	21%
Otros	2%

Movimientos de la Tierra

- **Rotación**: Es el movimiento que efectúa la Tierra girando sobre sí misma a lo largo de un eje ideal denominado Eje terrestre. Una vuelta completa, tomando como referencia a las estrellas, dura 23 h 56 m 4 s y se denomina día sidéreo.
- **Traslación**: Es el movimiento por el cual la Tierra se mueve alrededor del Sol siguiendo las leyes de Kepler y Newton.
- **Precesión**: también denominado precesión de los equinoccios, es debido a que la Tierra no es esférica sino un elipsoide achatado por los polos.
- **Nutación**: Este movimiento también es debido al achatamiento de los polos y a la atracción de la Luna sobre el eje ecuatorial. Es un movimiento de vaivén y se produce durante el movimiento de precesión, recorriendo a su vez una pequeña elipse (como si fuese una pequeña vibración). Una vuelta completa a la elipse se realiza en 18,6 años, lo que supone que en una vuelta completa de precesión la Tierra habrá realizado 1.385 bucles.
- **Bamboleo de Chandler**: Se trata de una pequeña oscilación del eje de rotación de la tierra que añade 0.7 segundos de arco en un período de 433 días a la precesión de los equinoccios. Actualmente no se conocen las causas que lo producen, aunque se han propuesto varias teorías, (fluctuaciones climáticas causantes de cambios en la distribución de la masa atmosférica, posibles movimientos geofísicos bajo la corteza terrestre, etc.).



Precesión, nutación y rotación

La Luna

Es el único satélite natural de la Tierra y el único cuerpo del Sistema Solar que podemos ver en detalle a simple vista. La duración de la rotación sobre su eje es igual al tiempo que tarda en recorrer su órbita alrededor de la Tierra: 27 días, 7 horas y 43 minutos, esto hace que nos muestre siempre la misma cara. No tiene atmósfera ni agua.

Su movimiento alrededor de nuestro planeta sigue las leyes de Kepler, ocupando la Tierra uno de los focos de la órbita elíptica.



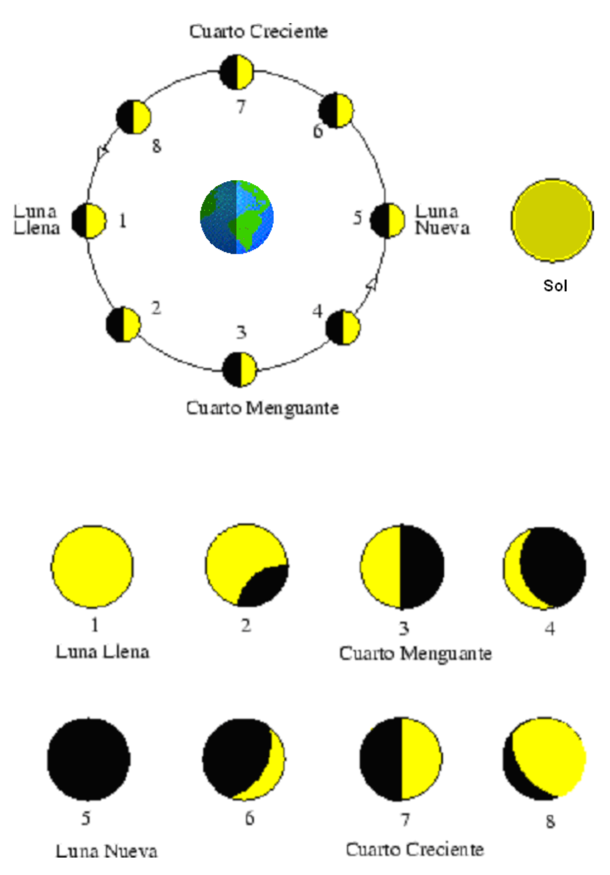
Datos

Masa (kg)	7.349e+22
Masa (Tierra = 1)	1.2298e-02
Radio ecuatorial (km)	1,737.4
Radio ecuatorial (Tierra = 1)	2.7241e-01
Densidad media (g/cm^3)	3.34
Distancia media desde la Tierra (km)	384,400
Período rotacional (días)	27.32166
Período orbital (días)	27.32166
Velocidad orbital media (km/s)	1.03
Excentricidad orbital	0.05
Inclinación del eje (º)	6.68
Inclinación orbital (º)	18.3-28.6
Gravedad superficial en el ecuador (m/s^2)	1.62
Velocidad de escape en el ecuador (km/s)	2.38
Albedo geométrico visual	0.12
Magnitud (Vo)	-12.74
Temperatura media de la superficie (día)	107°C
Temperatura media de la superficie (noche)	-153°C
Temperatura máxima de la superficie	123°C
Temperatura mínima de la superficie	-233°C

Revolución sidérea es el tiempo que tarda la Luna en recorrer su órbita, siendo su duración de 27,32 días.

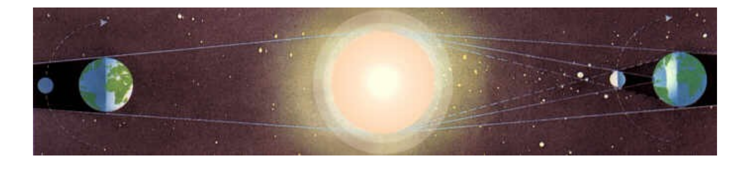
Revolución sinódica es el intervalo de tiempo que transcurre hasta que la Luna vuelve a ocupar la misma posición relativa respecto al Sol, también se le llama **lunación** o mes lunar. La duración de esta revolución es de 29,53 días. Es mayor que la sidérea ya que cuando la Luna ha cumplido esta revolución el Sol se ha desplazado unos 27° tardando la Luna cerca de dos días en volver a ocupar la misma posición.

Las **fases de la Luna** son los diversos aspectos bajo los cuales se presenta, y que dependen de la posición relativa de este astro y del Sol respecto a la Tierra. Dado que la Luna gira alrededor de la Tierra, la luz del Sol le llega desde posiciones diferentes, que se repiten en cada vuelta El hemisferio de la Luna que se presenta al Sol, esta iluminado, y oscuro el opuesto.



Cuando ilumina toda la cara que vemos se llama Luna llena o plenilunio. Cuando no la vemos es la Luna nueva o novilunio. Las otras posiciones son intermedias. En la posición 5 los tres astros están en conjunción y en la 1 en oposición. Ambas posiciones son llamadas **sicigias**. En las posiciones 3 y 7 los tres astros están en **cuadratura**.

Los **Eclipses** se producen cuando el Sol, la Luna y la Tierra se sitúan formando una línea recta. Cuando la Luna pasa por detrás y se sitúa a la sombra de la Tierra, se produce un **Eclipse Lunar** (*dibujo, izquierda*). Si la Luna pasa entre la Tierra y el Sol, lo tapa y se produce un **Eclipse Solar** (*derecha*), si únicamente oculta el centro del Sol se da un **eclipse anular**. Si un astro llega a ocultar totalmente al otro, el eclipse es **total**, si no, es **parcial**.



Los Planetas del Sistema Solar

Los **planetas terrestres** son los cuatro más internos en el sistema solar: Mercurio, Venus, Tierra y Marte. Son llamados terrestres porque tienen una superficie rocosa compacta, como la de la Tierra. Los planetas, Venus, Tierra, y Marte tienen atmósferas significantes mientras que Mercurio casi no tiene.

A Júpiter, Saturno, Urano, y Neptuno se les conoce como los **planetas Jovianos** (relativos a Júpiter), puesto que son gigantescos comparados con la Tierra, y tienen naturaleza gaseosa como la de Júpiter. Los planetas Jovianos son también llamados los gigantes de gas, sin embargo algunos de ellos tienen el centro sólido.

En general las órbitas de los planetas son elipses de poca excentricidad; son casi circulares.

Datos

	(AU) **Distancia**	(Tierras) **Radio**	(Tierras) **Masa**	(Tierras) **Rotación**	Principales **nº Lunas**	(grs/cm³) **Densidad**
Sol	0	109	332800	25-36	8	1.41
Mercurio	0.4	0.4	0.05	58.8	0	5.43
Venus	0.7	1	0.89	244	0	5.25
Tierra	1	1	1	1	1	5.52
Marte	1.5	0.5	0.11	1.029	2	3.95
Júpiter	5.2	11	318	0.411	16	1.33
Saturno	9.5	9	95	0.428	18	0.69
Urano	19	4	15	0.748	15	1.29
Neptuno	30	4	17	0.802	8	1.64

	Inclinación Orbital	**Excentricidad Orbital**	**Oblicuidad**	**Periodo rotación(h)**
Mercurio	7	0.2056	0.1°	1407.5
Venus	3.394	0.0068	177.4°	5832.5
Tierra	0	0.0167	23.45°	23.9345
Marte	1.85	0.0934	25.19°	24.623
Júpiter	1.308	0.0483	3.12°	9.925
Saturno	2.488	0.056	26.73°	10.656
Urano	0.774	0.0461	97.86°	17.24
Neptuno	1.774	0.0097	29.56°	16.11

En navegación interesan Venus, Marte, Júpiter y Saturno, por ser utilizados para calcular la posición por medio del sextante y el cronometro.

Las Estrellas

Las estrellas son enormes masas globulares de gas incandescente que irradian energía en todas direcciones, parte de ella en forma de luz. Se encuentran a grandes distancias de la Tierra, por lo que conservan fijas sus posiciones relativas, sus movimientos aparentes no se aprecian si no es en grandes períodos de tiempo.

Debido al efecto de la atmósfera terrestre, todas las estrellas presentan una rápida variación del color y brillo llamado **centelleo**. Los planetas, en general, no presentan este centelleo ya que tienen un diámetro aparente sensible, excepto Mercurio, al que se le aprecia debido a su pequeño tamaño.

El número de estrellas es de millones. A simple vista son visibles unas 6.500 estrellas, aunque lo normal es que un observador pueda ver 1/3 de esta cantidad. La mayoría de los objetos celestes visibles a simple vista pertenecen a la Vía Láctea.

Clasificación

El análisis espectral de la luz estelar proporciona datos sobre la constitución química y temperatura de las estrellas. La clasificación de las mismas según su tipo espectral, distingue las estrellas de acuerdo a su espectro luminoso y su temperatura superficial. Una medida simple de esta temperatura es el índice de color de la estrella: W, O, B, A, F, G, K, M, L y T de mayor a menor temperatura.

	Color	**Temperatura (°C)**	**Ejemplo**
O	azul	40.000-25.000	I Cephei
B	blanco-azul	25.000-11.000	Spica
A	blanco	11.000-7.500	Vega
F	blanco-amarillo	7.500-6.000	Procyon
G	amarillo	6.000-5.000	Sol
K	naranja	5.000-3.500	Arcturus
M	rojo	3.500-3.000	Betelgeuse, Antares

Estrellas con la misma temperatura pueden tener tamaños muy diferentes, lo que implica luminosidades muy diferentes. Para distinguirlas se definen las clases de luminosidad. En este sistema de clasificación se examina nuevamente el espectro estelar y se buscan líneas espectrales sensibles a la gravedad de la estrella. De este modo es posible estimar su tamaño.

Clase	**Descripción**
Ia	Supergigantes Luminosas
Ib	Supergigantes
II	Gigantes luminosas
III	Gigantes
IV	Sub-gigantes
V	Enanas (Sol)
VI	Sub-enanas
VII	Enanas blancas

La luminosidad aparente de una estrella se representa por su **magnitud estelar**; m. Es una medida de intensidad luminosa, b, que indica cuánto brilla más una estrella que otra.

$$m_1 - m_2 = 2.5 \cdot \log \frac{b_1}{b_2}$$

1ª magnitud: -1.6 < m < +1.5
2ª magnitud: +1.6 < m < +2.5
3ª magnitud: +2.6 < m < +3.5

A las estrellas más brillantes se les asignó la 1ª magnitud y a las que están en el límite de la visión la 6ª.

	m
el Sol	- 26.74
La Luna llena	-12.6
Venus	-4.4 max
Marte	-2.8 max
Sirius	-1.46
Canopus	-0.73
Rigil Kentaurus	-0.29
Arcturus	-0.05
Vega	0.03
Capella	0.07
Spica	0.97
Estrella polar	+2.01

Estrellas débiles visibles en una ciudad	+3.0
Estrellas débiles visibles al ojo humano	+6.0

La magnitud aparente no es indicativa de las dimensiones ni del brillo real de las estrellas.

Constelaciones

Desde la Tierra las estrellas se proyectan sobre la esfera celeste formando grupos que durante siglos mantienen su forma casi inmutable. Estos grupos o reuniones de estrellas de formas variadas se llaman constelaciones, las cuales se distinguen bien con nombres mitológicos como Orión, Andrómeda o Perseo; o bien con nombres de animales u objetos como Carro, León, Toro o Escorpio, sugeridos por las formas que representan y la fantasía de los primeros observadores. En 1930 la Unión Astronómica Internacional acordó que las constelaciones estuvieran limitadas por paralelos de declinación y círculos horarios, reconociendo oficialmente 88 de ellas. La forma de cada constelación es debida a un efecto de perspectiva, ya que si el observador se colocase en un punto lejano de la Tierra, la constelación aparecería de forma diferente.

Para distinguir las estrellas individualmente se les ha dado a las principales nombre propio. Los nombres de la mayor parte son de origen árabe como Altair o Aldebarán: otros son de origen latino corno Arcturus o Régulus. Johann Bayer introdujo en siglo XVII un sistema para designar las estrellas más brillantes, se utiliza el genitivo del nombre de las constelaciones, precedido por una letra griega; la estrella más brillante de la constelación se llama α, la segunda β, etc.

Las constelaciones más útiles al navegante son:

- Osa Mayor
- Pegaso
- Orión
- Cisne
- Escorpión
- Cruz del Sur.

Catálogos y planisferios

Los catálogos son listas de estrellas, generalmente ordenadas por sus ascensiones rectas o ángulos sidéreos, precedidas por un número de orden.

Los planisferios son mapas del cielo, generalmente en proyección estereográfica (centro de proyección: un punto de la esfera - plano de proyección: normal al diámetro que pasa por el centro de proyección) de los hemisferios boreal y austral sobre el plano del ecuador, tomando como centro de proyección el del polo opuesto.

Normalmente, el ecuador está graduado de 0 a 24 horas o de 0 a 360 grados, para medir AR o AS. Asimismo, tienen representados varios paralelos de declinación para medir las declinaciones.

El Almanaque Náutico contiene un catálogo con 99 estrellas y 4 planisferios.

Enfilaciones para encontrar las estrellas principales

Conociendo algunas constelaciones y estrellas principales podemos reconocer otras trazando enfilaciones o líneas imaginarias en la esfera celeste.

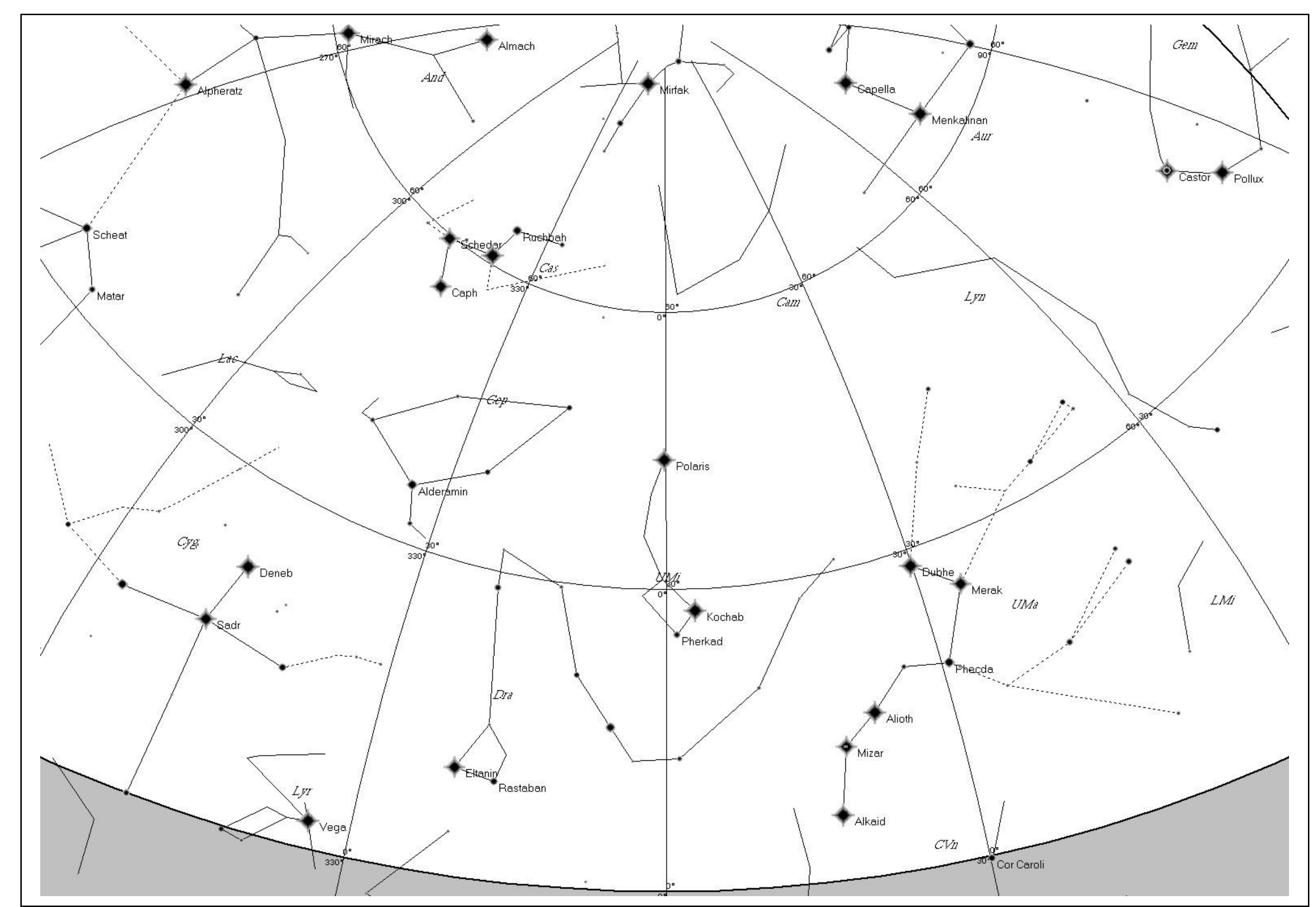
Partiendo de la constelación de la Osa Mayor

La Osa Mayor contiene un asterismo, (conjunto de estrellas que vistas desde el cielo de la Tierra parecen formar una figura pero que a diferencia de una constelación no tiene un reconocimiento oficial por parte de la comunidad científica.), El Carro, formado por siete estrellas, cuatro de las cuales forman un trapecio, que constituye el cuerpo de la osa o carro, y las otras tres forman la cola de la primera o la lanza del segundo.

Fácilmente reconocible por su forma característica, esta constelación describe un círculo de unos 35º de radio, alrededor del polo, cambiando su posición según la hora y época de la observación. Para la latitud del norte de España, todas las estrellas que la componen son circumpolares.

Polaris - La Polar es la última estrella de la cola de la Osa Menor, aunque de 2ª magnitud, es importante por estar prácticamente en el polo norte. Se encuentra:

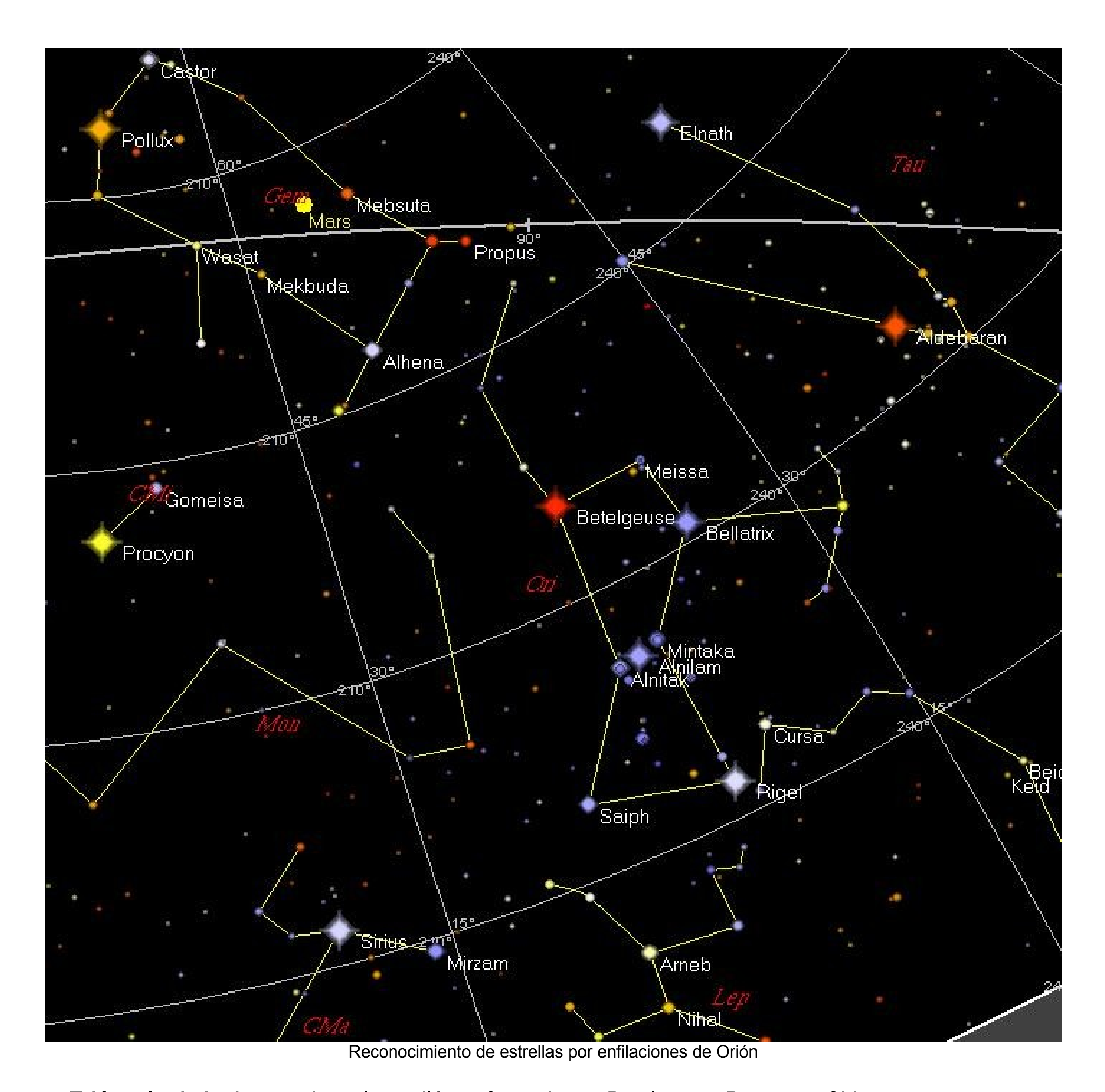
- prolongando unas 5 veces la distancia Merak-Dubhe.
- Esta aproximadamente en la intersección de las bisectrices de los dos ángulos que forman la w de la constelación de Cassiopea.



Reconocimiento de estrellas por enfilaciones de la Osa Mayor

Partiendo de la constelación de Orión

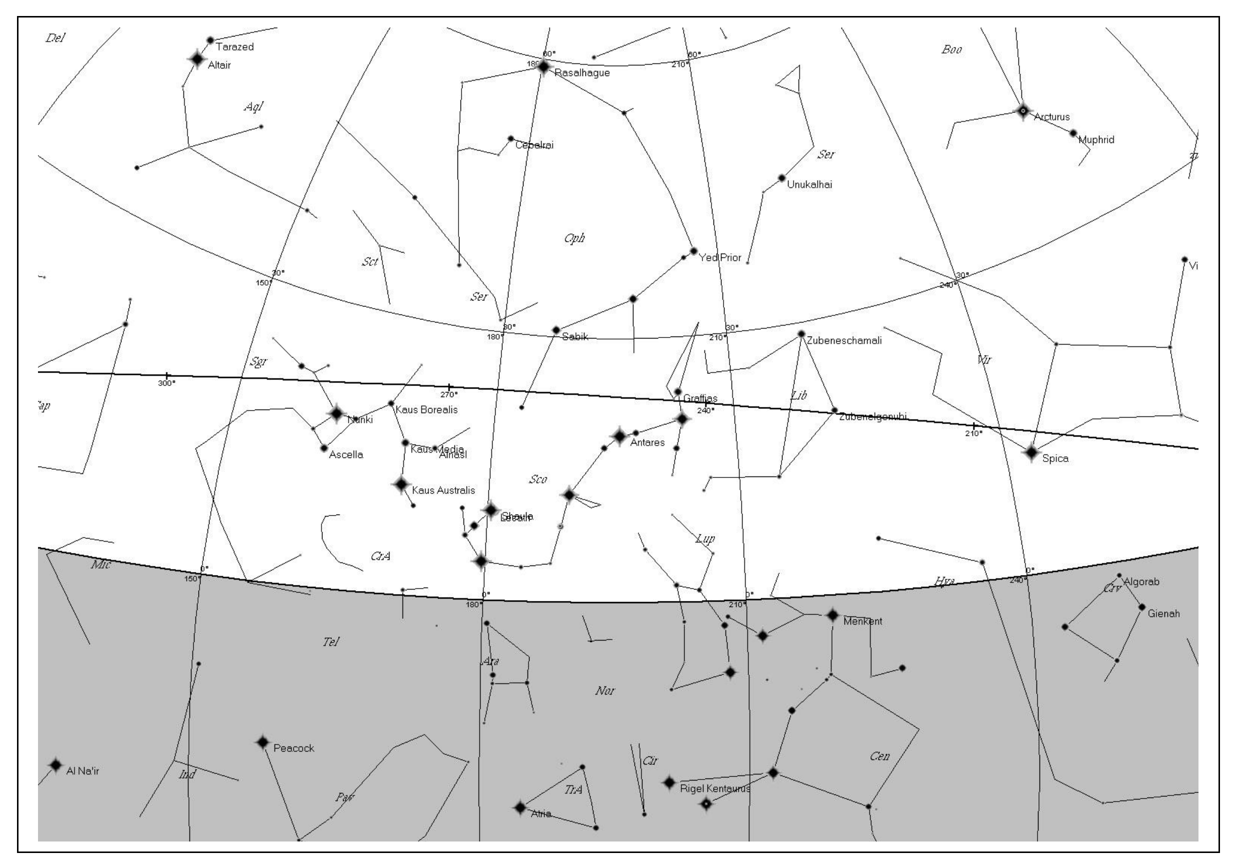
A partir de las siete estrellas principales que forman esta constelación, (cuatro del cuadrilátero y las Tres Marías o cinturón de Orión), se reconocen un número de estrellas importantes.



Reconocimiento de estrellas por enfilaciones de Orión

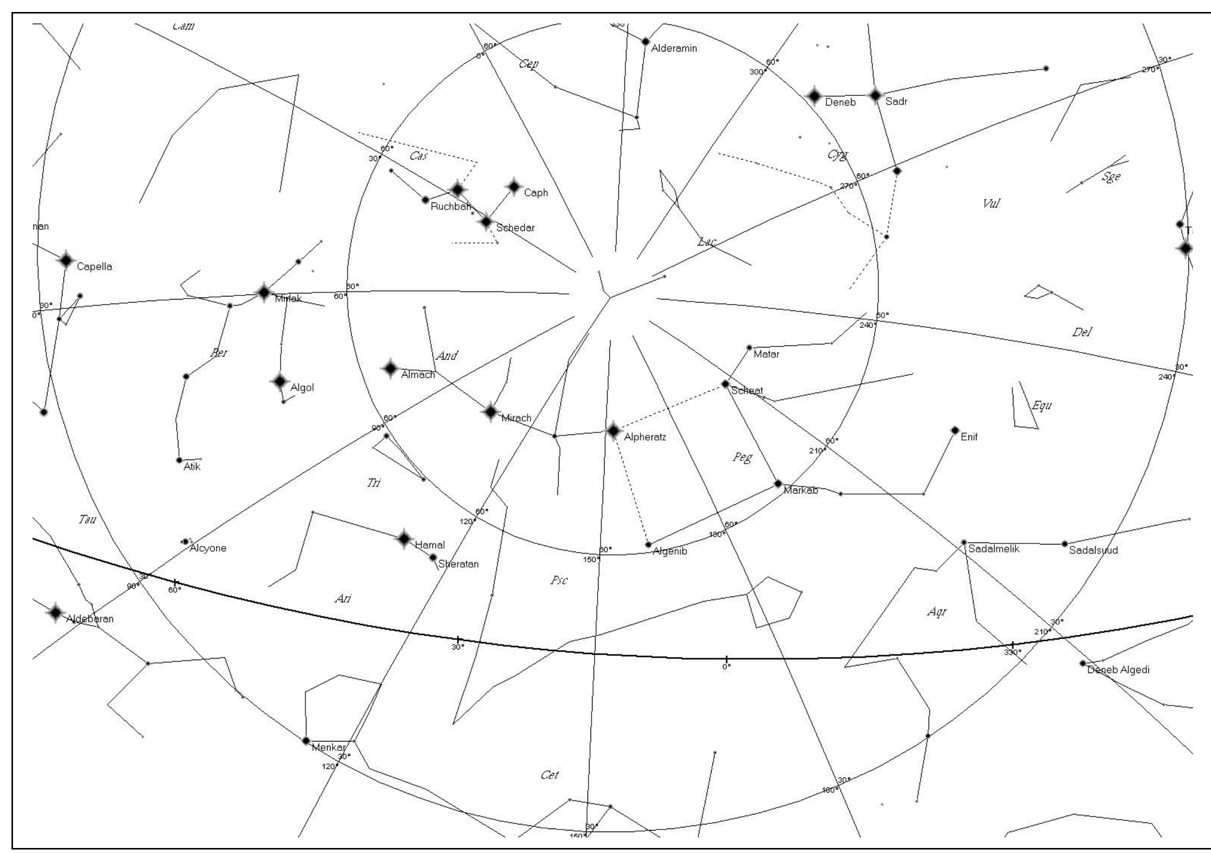
- **Triángulo de invierno**: triangulo equilátero formado por Betelgeuse, Procyon y Sirio.
- Línea formada por: Sirius, el cinturón de Orión y Aldebarán

Partiendo de la constelación de Escorpión



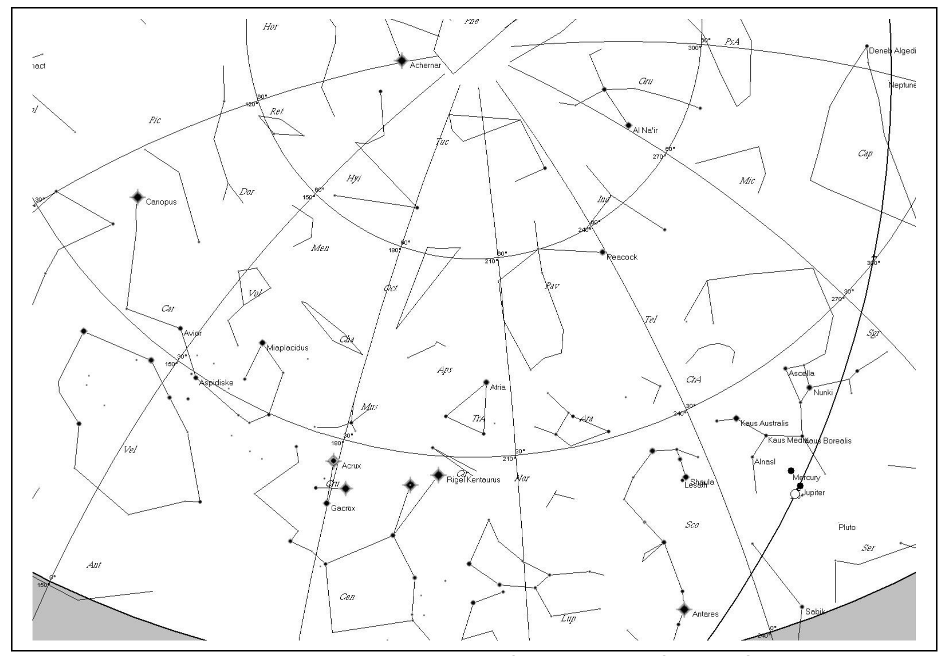
Reconocimiento de estrellas por enfilaciones constelación de Escorpio

Partiendo de la constelación del cuadrado del Pegaso.



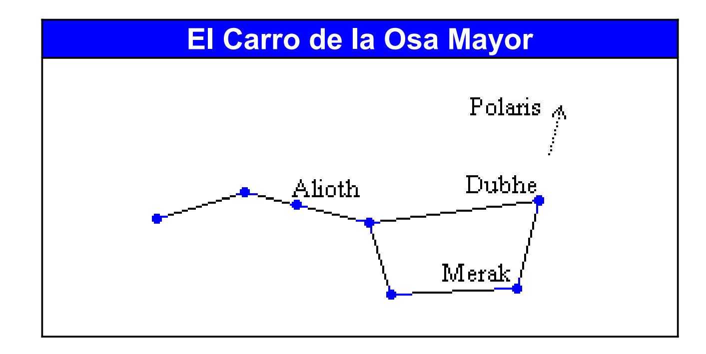
Reconocimiento de estrellas por enfilaciones de Pegaso y Andrómeda

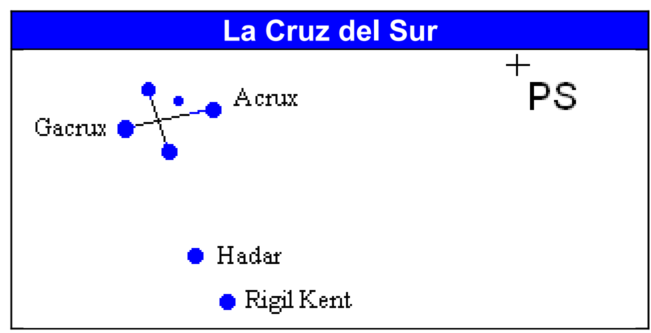
Partiendo de la constelación de la Cruz del Sur

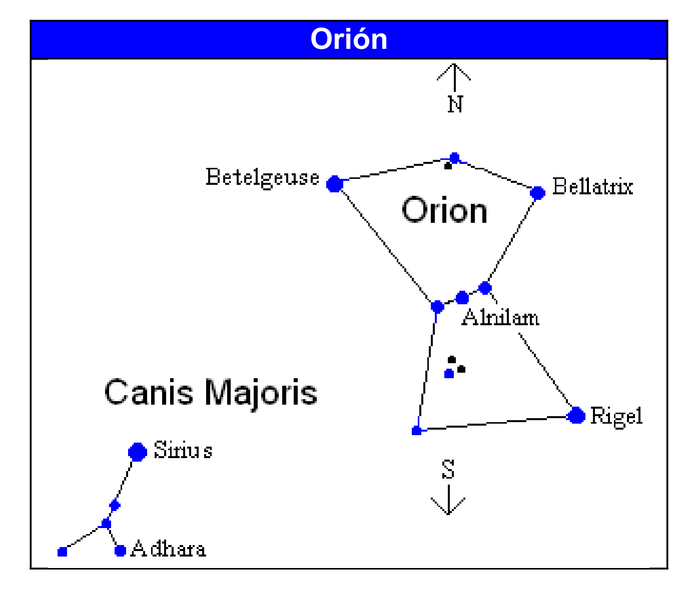


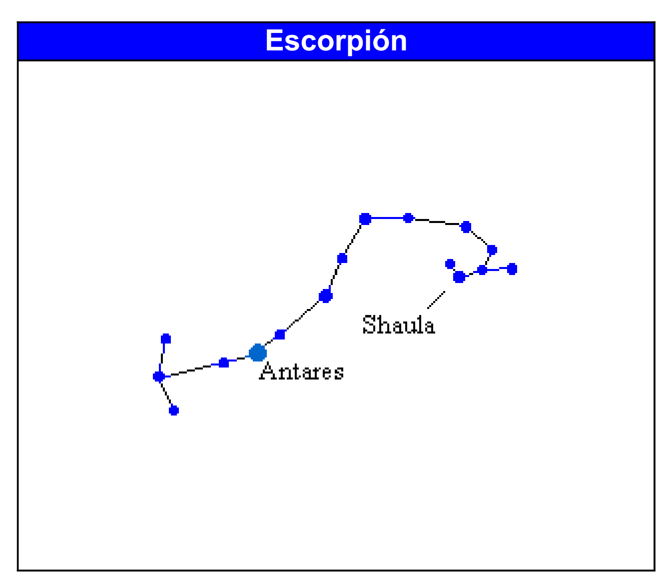
Reconocimiento de estrellas por enfilaciones de la Cruz del Sur

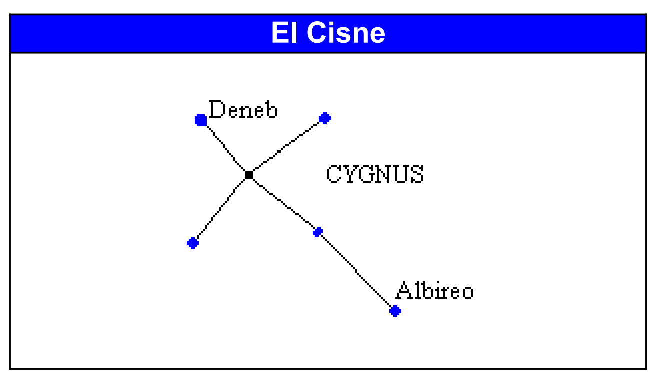
Estrellas del Hemisferio Sur

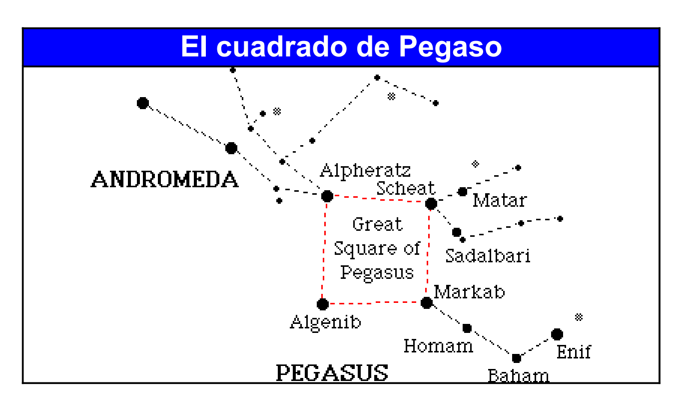

El Carro de la Osa Mayor
Polaris
Alioth
Dubhe
Merak

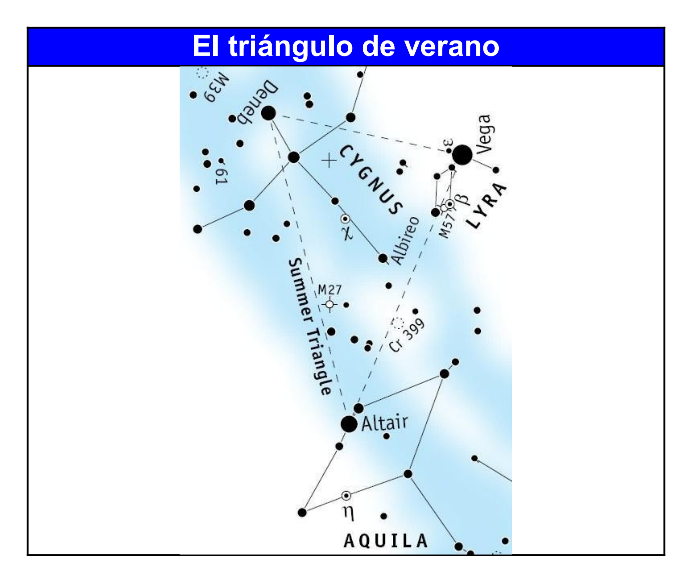

La Cruz del Sur
Acrux
Gacrux
PS
Hadar
Rigil Kent


Orión
N
Betelgeuse
Bellatrix
Orion
Alnilam
Canis Majoris
Rigel
Sirius
S
Adhara


Escorpión
Shaula
Antares


El Cisne
Deneb
CYGNUS
Albireo


El cuadrado de Pegaso
ANDROMEDA
Alpheratz
Scheat
Matar
Great
Square of
Pegasus
Sadalbari
Markab
Algenib
Homam
Enif
PEGASUS
Baham


El triángulo de verano
M39
Deneb
61
CYGNUS
Vega
ε
β
M57
LYRA
χ
Albireo
Summer Triangle
M27
Cr 399
Altair
η
AQUILA


El hexágono de invierno
Capella
Pollux
Aldebaran
Procyon
Betelgeuse
Rigel
Sirius

La esfera terrestre

Eje de la Tierra - es un eje imaginario que va de polo a polo, sobre el cual gira en rotación de occidente a oriente. Los extremos del eje son los polos. Viendo desde arriba al **polo norte**, la Tierra gira en sentido antihorario. El extremo contrario es el **polo sur**.

Meridiano - es el semicírculo máximo de la esfera terrestre que va de polo a polo. Al que pasa por Greenwich se le denomina **primer meridiano** o meridiano principal.

Ecuador - es el círculo máximo perpendicular al eje de la Tierra que la divide en dos hemisferios, el norte y el sur.

Paralelo - es un círculo menor paralelo al ecuador.

Meridiano del lugar - es el meridiano que pasa por el observador.

La esfera celeste

Para la resolución de la mayoría de los problemas de posición en astronomía, se supone que todos los astros se encuentran en una gran superficie esférica de radio arbitrario denominada esfera celeste, concéntrica con la esfera terrestre.

Las líneas principales que en la misma se consideran son:

Meridianos y paralelos

La proyección del polo norte y del polo sur terrestres en la esfera celeste da lugar a los polos de esta. El **polo elevado** es el polo que tiene el mismo signo que la latitud del observador y **polo depreso** el contrario.

El **eje del mundo**, **línea de los polos**, o **eje de rotación del movimiento diurno,** es la línea que une los dos polos de la esfera celeste. La rotación de la Tierra hace que la esfera celeste se mueva aparentemente en torno a dicho eje.

El **ecuador celeste** es la proyección del ecuador terrestre en la esfera celeste, es decir, el círculo perpendicular al eje del mundo.

Los **meridianos celestes** son semicírculos que van de polo a polo de la esfera celeste, también se denominan **semicírculos horarios**.

Meridiano superior del lugar, es el meridiano del lugar proyectado en la esfera celeste; es el meridiano celeste que contiene al cenit.

Meridiano inferior del lugar, es el meridiano celeste que contiene al nadir.

El meridiano cero o **primer meridiano** es el que pasa por Greenwich. Es el origen de las longitudes, y proyectado en la esfera celeste es el origen de los horarios en Greenwich de los astros.

Los **paralelos** son círculos menores paralelos al ecuador. En la esfera terrestre son paralelos de latitud, y en la celeste son paralelos de declinación.

Cenit, Nadir y Horizontes

Cenit o zenit, es el punto originado por la proyección del observador en la esfera celeste.

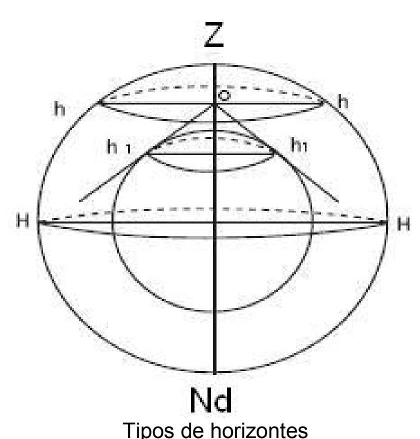
Nadir es el punto de la esfera celeste diametralmente opuesto al cenit.

La línea cenit-nadir, es la línea que une ambos puntos.

El **horizonte verdadero, geocéntrico** o racional, HH, es el círculo perpendicular a la vertical del observador por el centro de la esfera terrestre. Sobre él están los puntos cardinales y divide a la esfera celeste en el hemisferio visible y en el invisible.

Horizonte sensible o **aparente**. hh es el círculo menor con centro en el observador y paralelo al horizonte verdadero.

Horizonte **visible** o de la mar, h1h1 es el que se forma tangenteando desde el observador a la superficie terrestre.



Tipos de horizontes

Almicantarat es un círculo menor de la esfera celeste paralelo al horizonte verdadero. Tiene la propiedad de que los astros que se encuentran en él tienen la misma altura.

La proyección del polo norte celeste sobre el horizonte verdadero da lugar al punto cardinal norte, y la del polo sur, al punto cardinal sur.

La línea verdadera EW es perpendicular a la NS, y los puntos E y W son los de corte del horizonte con el ecuador celeste.

Vertical, es el círculo máximo que pasa por el cenit y el nadir. Es perpendicular al horizonte.

Vertical del lugar o **del observador**, vertical que pasa por el observador.

Vertical de un astro, o **semicírculo vertical**, es el semicírculo que va de cenit a nadir pasando por el astro.

El **primer vertical** es el círculo de la esfera celeste que pasa por los puntos cenit, nadir, este y oeste.

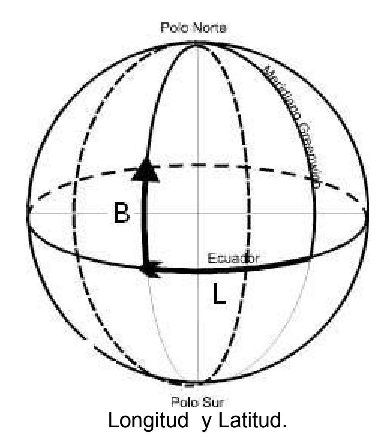
El **vertical principal** es el vertical que pasa por los polos celestes, es perpendicular al primer vertical.

Coordenadas terrestres

En navegación se emplean las coordenadas esféricas: latitud y longitud, que son las que utilizan las cartas náuticas.

B - Latitud es el arco de meridiano contado desde el ecuador hasta el observador. Toma valores de 0º a 90°, hacia el norte o sur.

L - Longitud es el arco de ecuador contado desde el meridiano de Greenwich hasta el meridiano del observador. Toma valores de 0° a 180º, hacia el este u oeste.



Longitud y Latitud.

Diferencia en latitud es el arco de meridiano entre dos paralelos. Es igual a la latitud de llegada menos la latitud de salida; puede ser norte o sur, y siempre menor de 180°.

Diferencia en longitud es el arco de ecuador comprendido entre dos meridianos. Es igual a la longitud de llegada menos la longitud de salida; puede ser este u oeste y siempre menor de 180°.

A - **Apartamiento** es el arco de paralelo entre dos meridianos. Los apartamientos van disminuyendo en distancia a medida que aumenta la latitud.

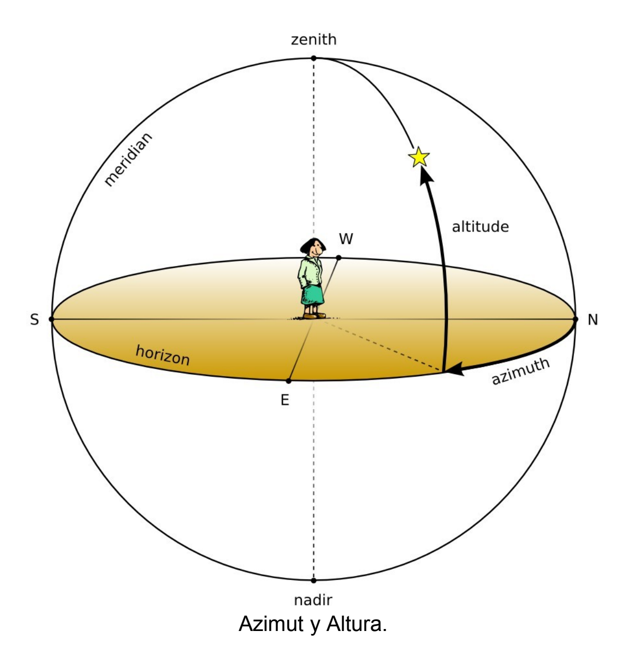
Coordenadas celestes de los astros

Para situar un astro en la esfera celeste, se emplean diversos sistemas de coordenadas celestes. En navegación se toma como origen el centro de la Tierra: coordenadas **geocéntricas**, y se utilizan coordenadas **esféricas**, en donde a efectos prácticos se toma la distancia r = 1.

Las coordenadas **locales** dependen de la situación del observador.

Coordenadas horizontales: Altura y azimut.

Tomando como círculo fundamental de referencia el horizonte verdadero, se definen las dos coordenadas de este sistema:



Azimut y Altura.

H - La **altura** es el arco de vertical del astro contado desde el horizonte verdadero hasta el astro. Toma valores de 0º a 90º con signo positivo. Cuando se mide utilizando un sextante o un teodolito se obtiene una altura topocéntrica que debe corregirse para obtener la geocéntrica correspondiente.

Si el astro estuviese debajo del horizonte, en el hemisferio invisible, la altura negativa recibe el nombre de **depresión**.

Z - El **azimut** es el arco de horizonte contado hasta el vertical del astro, desde el norte o el sur. (Este tipo de coordenadas también recibe el nombre de azimutales).

Formas de contar el azimut:

- Azimut **cuadrantal**. Se mide desde el norte o el sur más próximo hacia el este u oeste. Toma valores de 0º a 90º.
- Azimut **astronómico** o **ángulo cenital**, desde el polo elevado (N o S), hacia el E u W, tomando valores de 0º a 180°. Es el suplemento a 180º del azimut cuadrantal.
- Azimut **circular o náutico** desde el norte en el sentido de las agujas del reloj, es decir, de 0º a 360°.

Distancia cenital: es el complemento de la altura, representa el arco de vertical contado desde el cenit hasta el astro. dz = 90º - H

Am - **Amplitud**: es el arco de horizonte contado desde el punto cardinal E u W hasta el vertical del astro. Es el complemento del azimut cuadrantal.

- Amplitud **ortiva**: desde el E, azimut del orto
- Amplitud **occidua**: desde el W, azimut del ocaso

Coordenadas horarias: Declinación y horario local

El *semicírculo horario del astro* es el semicírculo máximo de la esfera celeste que va de polo a polo pasando por el astro.

Dec - La **declinación** es el arco de semicírculo horario contado desde el ecuador hasta el astro. Se mide de 0º a 90° hacia el norte o sur.

LHA - El **ángulo horario local** es el arco de ecuador contado desde el meridiano superior hasta el semicírculo horario del astro. Se mide hacia el W y toma valores en el intervalo: 0º ≤ LHA ≤ 360º

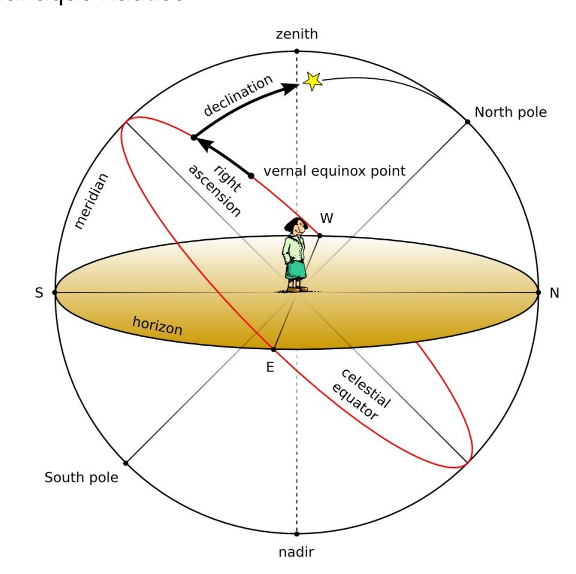
P - **Ángulo en el polo**: es el LHA del astro contado de 0º a 180º hacia el E u W.

Distancia polar o **codeclinación**: dp = 90º - Dec

Diferencia ascensional es el arco de ecuador contado desde el E u W hasta el semicírculo horario del astro. Se usa cuando el astro se encuentra en el orto u ocaso. Esta relacionado con el LHA.

Coordenadas uranográficas ecuatoriales: Declinación y ascensión recta

Estas coordenadas son independientes de la posición del observador, por lo que pueden ser publicadas en las efemérides astronómicas como el almanaque náutico.



Dec - La **declinación** es el arco de máximo de ascensión, (semicírculo horario), contado desde el ecuador hasta el astro. Se mide de 0º a 90° hacia el norte o sur.

SHA - **ángulo sidéreo** es el arco de ecuador desde Aries hasta el máximo de ascensión del astro, en sentido astronómico; hacia el W.

RA - Ascensión recta: es el suplemento a 360º del ángulo sidéreo expresado en tiempo. Se mide hacia el E.

GHA - El **ángulo horario en Greenwich** es el arco de ecuador contado desde el primer meridiano hasta el semicírculo horario del astro. Se mide de W hacia E, en el intervalo: 0º ≤ GHA ≤ 360º

Relación entre las distintas coordenadas

Cuando un observador ve un astro en el firmamento, la forma en que se relacionan las coordenadas terrestres y celestes de cada uno con la altura verdadera del astro, constituye la ecuación del círculo de altura, que es la línea de posición utilizada en navegación astronómica. De las diversas formas de obtener dicha ecuación, la más clásica resuelve el triángulo de posición.

- **Relación entre las distintas coordenadas que se miden en el ecuador**. Las coordenadas celestes que se miden sobre el ecuador son el horario y el ángulo sidéreo, y la longitud como coordenada terrestre. Su relación es importante en los cálculos náuticos de posición.

$$GHA = GHA\gamma + SHA$$
$$LHA = LHA\gamma + SHA$$
$$SHA = 360 - RA$$

- Relación entre el horario en Greenwich y el horario en el lugar:

$$LHA = GHA + L$$

Para L = - [W] y + [E]

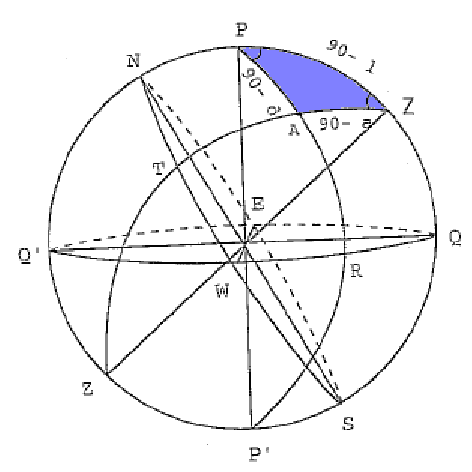
Esfera Terrestre	Esfera Celeste
Polo Norte	PN celeste
Polo Sur	PS celeste
Eje de la Tierra	Eje del mundo
Ecuador	Ecuador celeste
Paralelo de latitud	Paralelo de declinación
Meridiano	Meridiano celeste o semicírculo horario
Meridiano de Greenwich	Primer meridiano
Meridiano del lugar	Meridiano superior del lugar Meridiano inferior del lugar
Observador	Cenit
Polo de iluminación del astro	Astro
Latitud	Declinación
Longitud	GHA

	Coordenadas Horizontales	Coordenadas Horarias	Coordenadas Ecuatoriales
Origen	Geocéntricas	Geocéntricas	Geocéntricas
Polo fundamental	cenit	PN de la esfera celeste	PN de la esfera celeste
Eje polar	línea cenit / nadir	PN - PS celestes	PN - PS celestes
Círculo fundamental de referencia	horizonte geocéntrico	ecuador celeste	ecuador celeste
Coordenadas	**H, Z** Locales	**Dec, LHA** Locales	**Dec, RA** Independientes del observador
Círculos secundarios	verticales	círculos horarios	máximo de ascensión
Semicírculo secundario de referencia	vertical norte	meridiano superior del lugar	Primer máximo de ascensión *(pasa por Aries)*
Paralelos secundarios	almicantarat	paralelos de declinación	paralelos de declinación

El triángulo de posición

El triángulo de posición es un triángulo esférico de la esfera celeste formado por:

- el meridiano superior del lugar
- el vertical del astro
- el semicírculo horario del astro



Triángulo de posición en la esfera celeste.

Vértices:

- P - Polo elevado (de igual nombre que la latitud).
- A - Astro
- Z - Cenit

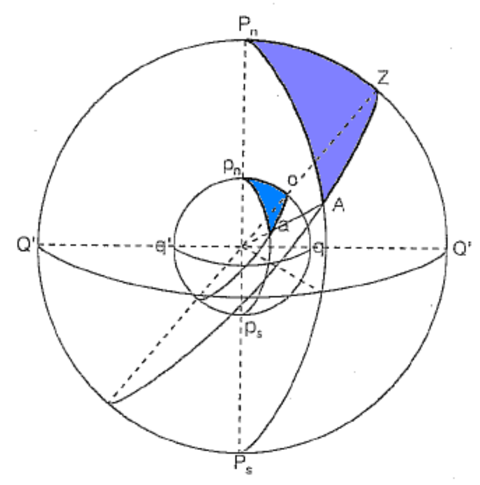
Lados:

- Colatitud = 90-B (Polo elevado-Cenit).
- Distancia polar = 90-dec (Polo elevado-Astro).
- Distancia cenital 90-H (Cenit-Astro).

Angulos:

- Angulo en el polo (con vértice en el polo elevado).
- Angulo de posición o paraláctico (con vértice en el astro).
- Angulo cenital (con vértice en el cenit).

El triángulo de posición corresponde a otro análogo en la esfera terrestre:



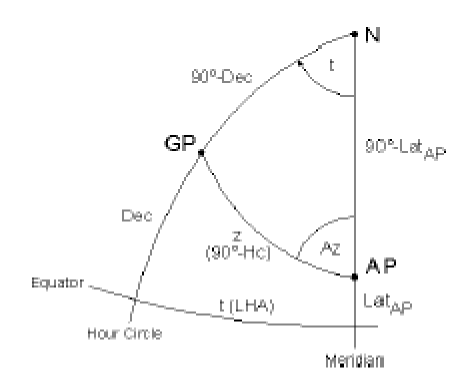
Triángulo de posición en la esfera terrestre.

Vértices:

- El polo terrestre más cercano al observador, polo elevado (igual nombre que la latitud).
- La situación del observador (o), que se corresponde con el cenit en la esfera celeste.
- El polo de iluminación del astro o punto astral (a), que es la proyección del astro en la esfera terrestre.

Resolución del triángulo de posición

Del triangulo de posición se deduce por medio de trigonometría esférica la ecuación del círculo de altura:



$$\sin H = \sin B \sin Dec + \cos B \cos Dec \cos LHA$$

También se obtiene el azimut del astro observado:

$$\cos Z = \frac{\sin Dec - \sin H \sin B}{\cos Hc \cos B}$$

En el instante del orto/ocaso verdadero, se cumple que:

- H = 0º
- $\cos Z = \dfrac{\sin Dec}{\cos B} = \sin Am$

Otras fórmulas:

(B, LHA, Dec) ⇨ Z
cotan Z = (tan Dec cos B - sin B cos LHA)/ sin LHA

(LHA, H, Dec) ⇨ Z
sin Z = (cos Dec sin LHA)/cos H

(B, H, Z) ⇨ LHA
cotan LHA = (tan H cos B - sin B cos Z)/ sin Z

(B, H, Z) ⇨ Dec
sin Dec = sin B sin H + cos B cos H cos Z

(B, H, Dec) ⇨ LHA   Time Sight
cos LHA = (sin H - sin Dec sin B)/(cos Dec cos B)

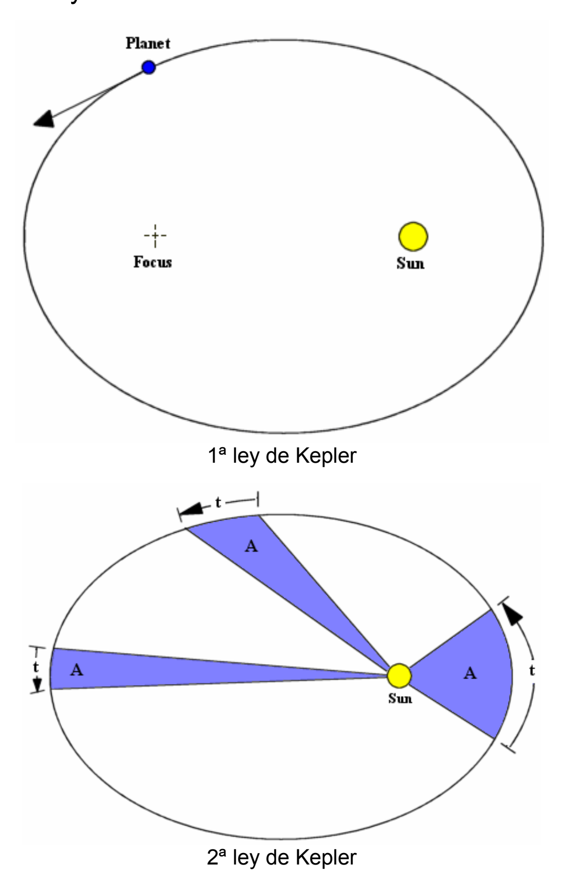
Movimiento propio de los astros

El movimiento propio de una estrella es la medida del cambio de su posición en el cielo con el tiempo después de que el movimiento impropio es considerado, (cambio de sus coordenadas que proviene de: la aberración de la luz, movimiento diurno, nutación, paralaje, precesión de los equinoccios, …). Es una medida indirecta de la velocidad transversal de la estrella con respecto a la Tierra.

Leyes de Kepler

Enunciadas por Johannes Kepler para explicar el movimiento de traslación de los planetas en sus órbitas alrededor del Sol, son las siguientes:

1. La órbita de cada planeta es una elipse en uno de cuyos focos está el Sol.
2. Los radios vectores que unen cada planeta con el Sol barren áreas iguales en tiempos iguales.
3. Los cuadrados de los tiempos empleados por los planetas en cumplir una revolución alrededor del Sol son proporcionales a los cubos de los ejes mayores de sus órbitas.



1ª ley de Kepler

2ª ley de Kepler

- **Perihelio** – punto de la orbita del planeta en donde la distancia al Sol es mínima.
- **Afelio** - punto de la orbita del planeta en donde la distancia al sol es máxima.
- **Línea de los ápsides** - eje mayor de la órbita elíptica.

La 2ª ley se deduce del principio de conservación del momento angular, es decir, cuando el planeta está más alejado del Sol (afelio) su velocidad es menor que cuando está más cercano al Sol (perihelio). El momento angular L es el producto de la masa del planeta, por su velocidad y por su distancia al centro del Sol.

$$L = m \cdot r_1 \cdot v_1 = m \cdot r_2 \cdot v_2$$

De la 3ª ley, para cualquier planeta, el cuadrado de su período orbital, P, (tiempo que tarda en dar una vuelta alrededor del Sol), es directamente proporcional al cubo de la distancia media del planeta al Sol, r.

$$\frac{P^2}{r^3} = K = constante$$

La velocidad media con que un planeta recorre su órbita es tanto menor cuanto más alejado se encuentre del Sol.

Orbita de la Tierra alrededor del Sol

En su movimiento de traslación alrededor del Sol, los rayos solares inciden con diferente ángulo sobre la Tierra en el transcurso del año, dando lugar a diferentes climas y a las estaciones.

Zonas terrestres y climas

- **Trópico de Cáncer**: paralelo 23°27’N
- **Trópico de Capricornio**: paralelo 23°27’S
- **Círculo polar ártico**: paralelo 66°33’N, separado del polo norte 23°27’
- **Círculo polar antártico**: paralelo 66°33’S, separado del polo sur 23°27’.

Estos paralelos limitan cinco zonas llamadas:

- **Zona ecuatorial**, tórrida o caliente: entre los trópicos de Cáncer y Capricornio.
- **Zona templada del norte**: entre el trópico de Cáncer y el círculo polar ártico.
- **Zona templada del sur**: entre el trópico de Capricornio y el círculo polar antártico.
- **Zona glaciar ártica**: entre el círculo polar ártico y el polo norte.
- **Zona glaciar antártica**; entre el círculo polar antártico y el polo sur.

Las diferentes zonas climáticas son debidas a las variaciones de la declinación del Sol. En la zona tórrida, el Sol alcanza grandes alturas llegando a culminar en el cenit dos veces al año. Por ello, los rayos solares inciden casi perpendicularmente sobre dicha zona y es la más calurosa.

En las dos zonas templadas, los rayos solares inciden más oblicuamente, el sol nunca culmina en el cenit y al aumentar la latitud, alcanza menos altura, por ello, la temperatura en esta zona es menos elevada que en la anterior.

En las zonas glaciares, los rayos del Sol inciden muy oblicuamente, calentando poco. En estas zonas los días y las noches tienen grandes duraciones,

tanto mayor cuanto mayor es la latitud. El *sol de medianoche* es un fenómeno observable en latitudes próximas al círculo polar ártico y al círculo polar antártico, consistente en que el sol es visible las 24 horas del día, en las fechas próximas al solsticio de verano. El número de días al año con sol de medianoche es mayor cuanto más cerca se esté del polo, en los polos la noche y el día tienen una duración de seis meses, aunque existen los crepúsculos que duran unos dos meses. El fenómeno contrario, la *noche de mediodía*, se produce en fechas próximas al solsticio de invierno, cuando el sol no llega a asomar por el horizonte en todo el día

Movimiento aparente de los astros

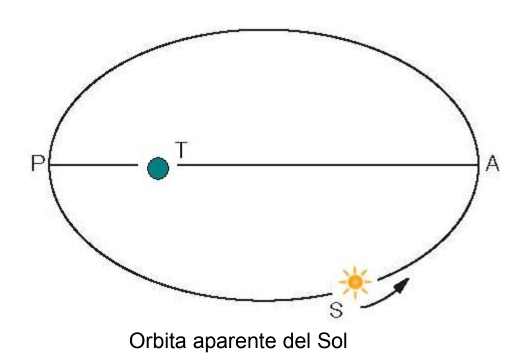
El movimiento aparente de los astros es el que se ve desde la Tierra al observar el firmamento.

Movimiento diurno - es el movimiento de rotación de la Tierra alrededor de su eje polar observado en el transcurso de un día, tiene sentido directo; de occidente a oriente, (sentido antihorario visto desde el polo Norte).

Movimiento aparente diurno - Un observador solidario a la Tierra no aprecia el movimiento diurno, sino otro aparente en el cual los astros recorren los paralelos de declinación en sentido contrario; de oriente a occidente, (el Sol, la Luna y los planetas cambian su declinación en un día, por lo que no siguen exactamente el mismo paralelo). El paralelo de declinación que recorre el astro recibe el nombre de *círculo diario del astro*.

Movimiento aparente del sol

Desde la Tierra parece que estamos quietos en el espacio, y que es el Sol el que gira alrededor de la Tierra; la órbita real de la Tierra alrededor del Sol, se aprecia como la órbita aparente del Sol alrededor de la Tierra.



Orbita aparente del Sol

En el caso de la órbita aparente del Sol, el perihelio y el afelio, reciben el nombre de **perigeo** y **apogeo**, respectivamente.

El Sol sale por el Este y se pone por el Oeste, lo que en el hemisferio Norte se aprecia como un movimiento en sentido horario, aunque ligeramente más lento que las estrellas lejanas. Éstas se mueven acordes al tiempo sidéreo, mientras que el movimiento aparente del Sol es acorde al tiempo solar.

La eclíptica

Es el plano que contiene la órbita de la Tierra en su movimiento de traslación alrededor del sol. Aparentemente, es la línea recorrida por el sol a lo largo de un año respecto del fondo inmóvil de las estrellas. Constituye un círculo máximo formado por la proyección de la órbita aparente del Sol en la esfera celeste.

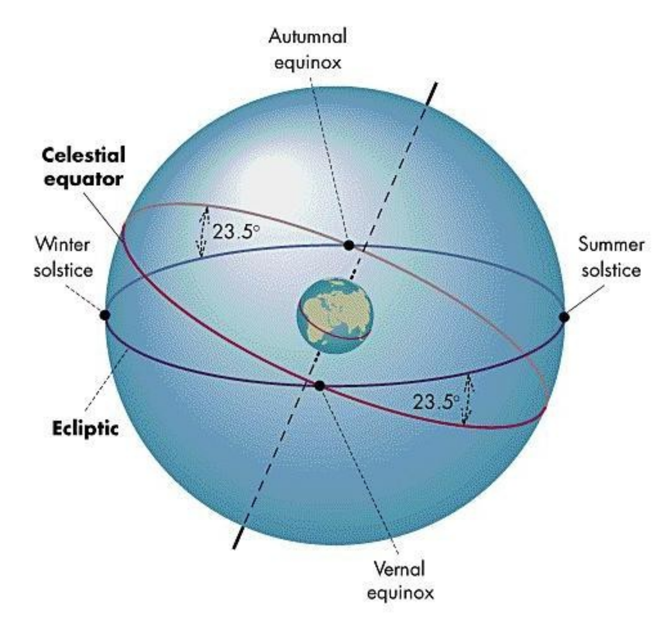
Oblicuidad de la eclíptica: ángulo de inclinación de la eclíptica respecto del ecuador, 23° 27' 8.26"

Puntos equinocciales: Son los puntos de corte de la eclíptica con el ecuador; ***primer punto de Aries*** o punto vernal, y ***punto de Libra***. En Aries el Sol pasa de declinación sur a norte el día 21 de Marzo, y en Libra cambia la declinación de norte a sur, el 23 de Septiembre.

Solsticios: puntos en los cuales el Sol tiene declinación máxima. La línea de los ápsides está separada de la línea de los solsticios cerca de 16°.

Los equinoccios y los solsticios marcan los cambios de estación, los valores de la declinación del Sol en el hemisferio norte son:

- Equinoccio de otoño o de primavera, Dec = 0º, (igual duración del día y de la noche)
- Solsticio de verano, (punto de Cáncer):
  Dec = 23º27'N
- Solsticio de invierno, (punto de Capricornio):
  Dec = 23º27'S



La eclíptica y las estaciones

Las Estaciones

Los equinoccios y los solsticios dividen a la Eclíptica en cuatro cuadrantes y a la duración del movimiento aparente del Sol en cuatro intervalos diferentes llamados estaciones, que en el hemisferio norte, (en el hemisferio sur las fechas están desplazadas 12 meses), son:

- **Primavera**, estación durante la cual el Sol recorre el arco de Eclíptica desde el equinoccio de primavera hasta el solsticio de verano. Del 21 de Marzo al 21 de Junio.

- **Verano**, estación en la cual el Sol recorre el arco de Eclíptica desde el solsticio de verano hasta el equinoccio de otoño. Empieza el 21 de Junio y termina el 23 de Septiembre.

- **Otoño**, estación en la cual el Sol recorre el arco de Eclíptica desde el equinoccio de otoño hasta el solsticio de invierno. Empieza el 23 de Septiembre y termina el 21 de Diciembre.

- **Invierno**, estación durante la cual el Sol recorre el arco de Eclíptica desde el solsticio de invierno hasta el equinoccio de primavera. Empieza el 21 de Diciembre y termina el 21 de Marzo.

Las estaciones no tienen la misma duración. La diferencia entre el verano y el invierno es aproximadamente de 4 días y medio.

Las causas de la desigualdad de las estaciones son debidas a:

- El Sol aparentemente no recorre la Eclíptica sino una elipse.
- La inclinación de unos 16° de la línea de los ápsides con la línea de los solsticios.
- La velocidad variable del movimiento aparente del Sol según las leyes de Kepler.

Los arcos recorridos en cada estación no son iguales ni el Sol los recorre con la misma velocidad, y así, durante la primavera el Sol recorre un arco de elipse grande y su velocidad es cada vez menor; durante el verano pasa por el Apogeo y su velocidad es la mínima (estación más larga); durante el otoño el Sol recorre su arco con velocidad cada vez mayor y en el invierno la velocidad es máxima por pasar por el Perigeo y su duración es mínima.

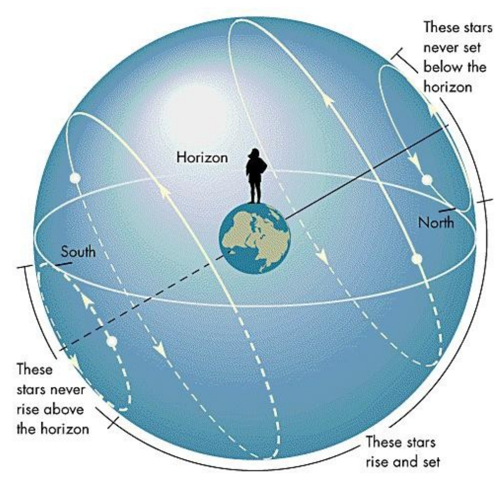
El zodíaco

Banda circular en la esfera celeste que se extiende 8° a cada lado de la eclíptica. Se divide en 12 sectores asociados a las constelaciones clásicas, denominados signos del zodíaco: Aries, Tauro, Géminis, Cáncer, Leo, Virgo, Libra, Escorpión, Sagitario, Capricornio, Acuario y Piscis. Las órbitas del Sol y de todos los planetas están dentro del Zodíaco.

Arcos diurno y nocturno

- Arco diurno es el arco de paralelo de declinación del astro que está sobre el horizonte. (El astro es visible durante este recorrido. Cuando el Sol recorre su arco diurno es de día).

- Arco nocturno es el arco de paralelo de declinación del astro que está por debajo del horizonte. (El astro no es visible durante este recorrido. Cuando el Sol recorre su arco nocturno es de noche).



Rotación aparente de la esfera celeste

Astro con arco diurno mayor que el nocturno:
Dec < 90 - B
Latitud y declinación del mismo nombre

Astro con arco diurno menor que el nocturno:
Dec < 90 - B
Latitud y declinación de distinto nombre

Astro con arco diurno igual que el nocturno:
Dec = 0. El astro recorre el ecuador

Astro circumpolar, (24 horas sobre el horizonte):
Dec => 90-B
Dec y B de mismo nombre

Astro anticircumpolar, (24 h bajo del horizonte):
Dec => 90-B
Dec y B de nombre contrario

Se distinguen tres casos según sea la posición relativa entre el horizonte y el ecuador:

Esfera celeste oblicua: el horizonte forma un determinado ángulo con los paralelos de declinación

Esfera celeste recta: el observador se encuentra en el ecuador y el horizonte forma un ángulo recto con el ecuador y por lo tanto con los paralelos de declinación, coincidiendo el punto cardinal norte con el polo norte y el punto cardinal sur con el polo sur. En todos los astros, el arco diurno es igual al arco nocturno y el observador podrá ver a todos los astros del universo. Todos los días serán iguales a las noches. La altura de los astros varía mucho y el azimut poco.

Esfera celeste paralela: el observador se encuentra en un polo y el horizonte, que coincide con el ecuador, es paralelo a los paralelos de declinación. El observador verá solo los astros que se encuentran en su hemisferio, es decir, aquéllos que tengan su declinación del mismo signo que la latitud. La altura no varía y es igual a la declinación. En cambio los astros se apartan en todas las direcciones, no pudiéndose señalar el azimut por no existir puntos cardinales.

Ortos y ocasos de un astro

Orto o **salida**: instante en que corta al horizonte pasando del hemisferio invisible al visible.

Ocaso o **puesta**: instante en que el astro corta el horizonte pasando del hemisferio visible al invisible.

En el instante del orto y del ocaso, la altura del astro es nula.

Para un astro que recorre el ecuador su orto se verifica en el punto cardinal E y su ocaso en el punto cardinal W.

Crepúsculos

El crepúsculo es el momento antes de la salida o después de la puesta del Sol en que se puede ver su luz, debido a la refracción de sus rayos luminosos en la atmósfera. Dicha difusión alarga el día, tanto por la mañana antes del amanecer, como por la tarde después del ocaso:

Crepúsculo matutino, aurora o alba: ocurre antes de la salida del Sol.

Crepúsculo vespertino: ocurre tras la puesta del Sol.

El crepúsculo se sucede en tres fases: para el crepúsculo vespertino, desde que se pone el Sol hasta que su altura es:

- H = -6º Civil
- H = -12º Náutico
- H = -18º Astronómico

El recorrido temporal es el contrario en el crepúsculo matutino: comienza cuando el Sol va alcanzando esas alturas, y termina con su salida por el horizonte.

Crepúsculo civil: su altura es -6º. Se ven las estrellas de la 1ª magnitud y algunos planetas.

Crepúsculo náutico: la altura es -12º. En este tiempo se hacen visibles las estrellas náuticas las de 1ª y 2ª magnitud, y se reconocen las principales constelaciones. Se distingue el horizonte en el mar, por lo que es posible utilizar el sextante sin horizonte artificial.

Crepúsculo astronómico: la altura es -18º. Se hacen visibles a simple vista las estrellas hasta la 6ª magnitud.

La duración del crepúsculo es inversamente proporcional al ángulo que forma el paralelo de declinación con el horizonte. El ángulo depende de B y Dec. La duración de los crepúsculos crece con la latitud, y es mayor en los solsticios que en los equinoccios.

Cálculo de la duración de los crepúsculos:

- matutinos

  Duración = HcL salida ☼ – HcL comienzo crepúsculo.

- vespertinos:

  Duración = HcL fin crepúsculo - HcL puesta ☼

Siendo HcL, la hora civil del lugar.

Paso de los astros por el meridiano del lugar

Este instante es importante en navegación ya que permite obtener la latitud al mediodía local.

Paso por el **meridiano superior del lugar**

- LHA = 0
- Z = N o S
- H = máxima
- Antes del paso el horario y el azimut son orientales, después el horario y el azimut son occidentales.

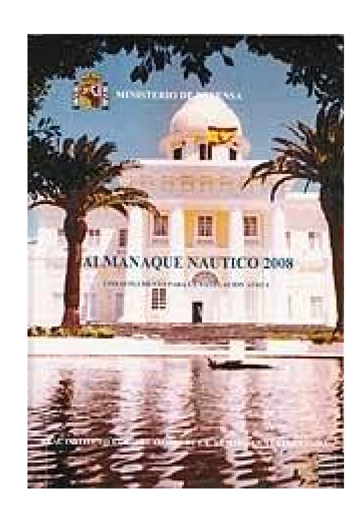
Paso por el **meridiano inferior del lugar**

- LHA = 180º
- Z = N o S.
- H = mínima.
- Para que se vea en dicho instante, se tiene que tratar de un astro circumpolar.

La altura es máxima o mínima siempre que permanezcan constantes la latitud del observador y la declinación del astro. En un buque en movimiento la altura no alcanza el valor extremo a la hora del paso por el meridiano del lugar

El Almanaque Náutico

Un almanaque náutico es una publicación que contiene información astronómica utilizada en náutica para navegación astronómica. En España publica un almanaque náutico el Real Instituto y Observatorio de la Armada de San Fernando, Cádiz. El gobierno británico ha publicado su almanaque náutico sin interrupción desde 1767, actualmente difundido conjuntamente por los gobiernos británico y estadounidense. Los mencionados almanaques son publicaciones gubernamentales que contienen solamente las predicciones astronómicas y otras tablas necesarias para la navegación astronómica. Existen otros almanaques publicados comercialmente que contienen, además de esta información astronómica, otro información útil al navegante como predicciones sobre mareas y otra información sobre puertos, faros, ayudas a la navegación etc. Entre estos tienen gran tradición Reed's Nautical Almanac (publicado desde 1932) y Brown's Nautical Almanac (publicado desde 1877).



Descripción del almanaque

- Prólogo
- Índice
- Datos Astronómicos
- Calendario, Fases de la Luna y Eclipses
- Sol
- Luna
- Aries
- Venus
- Marte
- Júpiter
- Saturno
- Estrellas: Posiciones aparentes.
- Pasos meridianos.
- Polar: Latitud por la Polar. Azimut de la Polar.
- Corrección por retardo y longitud.
- Altura de Sol, planetas y estrellas: Tablas A, B y C para correcciones
- Alturas de la Luna: Tablas para correcciones
- Intervalos de Tiempo: Tablas para conversiones de sidéreo a medio y viceversa
- Conversión de arco en tiempo
- Hora oficial en distintos lugares
- Planisferios
- Constelaciones
- Explicación
- Tabla de interpolación para Dec y GHA
- Suplemento para uso de navegación aérea

Horario en Greenwich y declinación para una hora TU

- El sol
- La Luna
- Planetas
- Estrellas

Hora de paso por el meridiano del lugar

- Primer punto de Aries
- El sol
- La Luna
- Planetas
- Estrellas

Horas de salida y puesta del sol

- Crepúsculos

El catálogo de estrellas del Almanaque Náutico para usos de los navegantes comprende 99 estrellas.

NAVIGATIONAL ALGORITHMS

Navegación Astronómica

$$\sin H = \sin B \sin Dec + \cos B \cos Dec \cos(GHA + L)$$

Índice

La navegación astronómica en el siglo XXI

A lo largo de la historia, los métodos y las técnicas de navegación han ido variando y evolucionando, hasta la era actual donde el GPS se ha convertido en una herramienta precisa, robusta y barata, facilitando al navegante su trabajo, y haciendo la travesía más segura.

Es cierto que los dispositivos electrónicos de a bordo pueden dejar de funcionar, -por caída de un rayo, cortocircuito, deterioro-, y es entonces cuando los métodos tradicionales muestran todo su potencial.

Antaño, en una travesía cuando la costa se aleja y se deja atrás, y solo hay mar océana alrededor, el navegante, no tenia más amigos para situarse que los astros del firmamento. La navegación astronómica era un arte reservado para unos pocos elegidos, rodeada de una aureola de romanticismo y aventura.

Hoy en día, en la era de la navegación por satélite, parte de ese romanticismo se ha perdido, debido a la comodidad que supone el uso de un dispositivo que te da en cada momento la posición, rumbo y velocidad. Pero también es una realidad que la ciencia y la tecnología han posibilitado que la navegación astronómica sea menos “misteriosa” y llegue a más gente interesada en conocerla y utilizarla.

De hecho es un error confiar en un solo método para calcular la posición; la política de seguridad debería ser utilizar al menos otro alternativo, independiente del primero, por si este falla. Ahora que los sistemas reservados a los grandes navíos, como el OMEGA y TRANSIT han sido deshabilitados, y no se garantiza la operatividad a largo plazo de otros como el LORAN-C y el VOR/DME, es cuando la navegación astronómica se perfila como un serio complemento a los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS), por su robustez y precisión. Un sextante, un reloj, un almanaque náutico y unas tablas o calculadora de bolsillo para resolver el triángulo de posición, son suficientes para calcular la posición en base a la observación de los astros.

Es más, existe en el mercado gran variedad de software específico para descargar al navegante de la tarea más tediosa, y sujeta a errores, de este tipo de navegación, como son los cálculos necesarios para obtener una recta de altura; un PC portátil a bordo puede hacer las veces del almanaque náutico y las tablas, dejando al navegante la labor más creativa de utilizar el sextante, el cronometro y analizar los resultados para obtener una posición precisa.

Un poco de historia

Hasta el siglo XVI la navegación se efectuaba fundamentalmente a la vista de la costa. La práctica de la estima empleando la aguja náutica y la corredera, (muy imprecisa), unidos a la experiencia, hacían de la navegación todo un arte. En los viajes a través de la costa africana el rumbo seguido tiene una fuerte componente norte/sur, por lo que el conocimiento de la latitud es suficiente para la recalada en el puerto de destino.

Con el viaje de Colón al nuevo mundo, la navegación de altura irrumpe en el Atlántico, y son precisas nuevas técnicas de posicionamiento. La componente predominante del rumbo para atravesar el océano pasa a ser este/oeste, con lo cual el desconocimiento de la longitud comienza a ser un serio problema.

Los instrumentos empleados en navegación astronómica van evolucionando y haciéndose cada vez más sofisticados: el kamal, el astrolabio, el cuadrante, la ballestilla, el cuadrante de Davis, el quintante, etc.

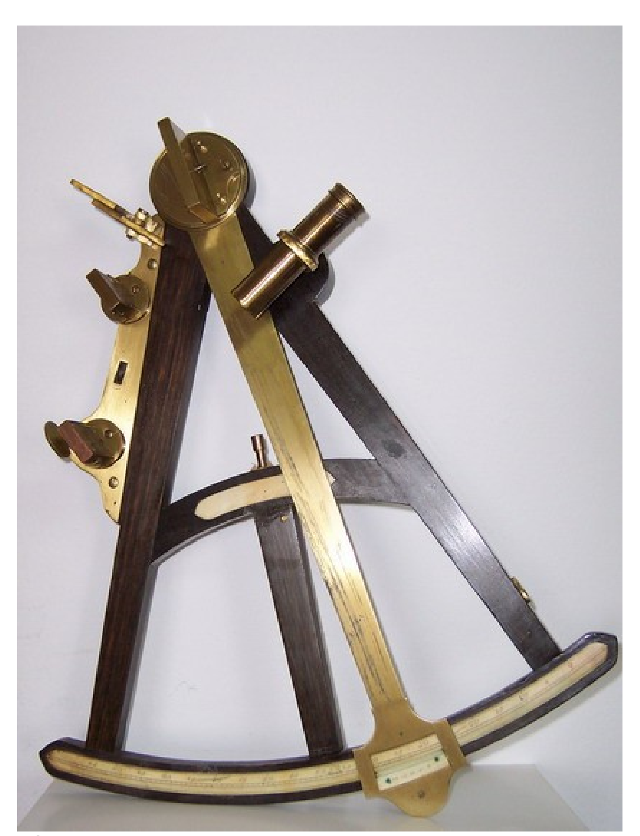
Los métodos empleados para hallar la latitud se basan en medir la altura de la Polar en los crepúsculos, y del Sol al mediodía. Para el cálculo es necesario además el conocimiento de la declinación del astro.

Para resolver el problema de la longitud el gobierno británico constituye el *Board of Longitude*. Figuras como Nevil Maskelyne y José de Mendoza y Ríos desarrollan el método de las distancias lunares.

Es a partir de la segunda mitad del siglo XVIII cuando la navegación astronómica se empieza a desarrollar plenamente dado que los factores que la condicionan alcanzan la

madurez suficiente para ello. Los avances en mecánica celeste propician la elaboración de efemérides astronómicas cada vez más precisas que finalmente dan lugar al nacimiento del *Almanaque Náutico*. La introducción de la óptica en el diseño de los instrumentos de navegación y la mejora de las técnicas de fabricación desembocan en la comercialización de instrumentos precisos como el octante (Hadley) y el sextante, para medir la altura. John Harrison inventa el cronometro marino, lo que permite calcular la longitud. Y ya en el siglo XIX, el avance en las matemáticas y la ciencia aplicadas a la navegación, facilitan nuevos métodos de calculo, que se hacen factibles a bordo con la publicación de tablas que simplifican la labor al navegante a la hora de calcular la posición por medio de los astros.

El descubrimiento de la línea de posición por el capitán Sumner y el perfeccionamiento y generalización del método por Marcq de Saint Hilaire abren una nueva era en la navegación astronómica en el siglo XIX.



Octante de Hadley, siglo XVIII. Imagen cedida por el Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando, Cádiz, España. (Nº INV. ROA: 0061/I) http://www.roa.es

A
NEW AND ACCURATE METHOD
OF
FINDING A SHIP'S POSITION AT SEA,
BY PROJECTION ON MERCATOR'S CHART.

WHEN THE LATITUDE, LONGITUDE, AND APPARENT TIME AT THE SHIP ARE UNCERTAIN; ONE ALTITUDE OF THE SUN, WITH THE TRUE GREENWICH TIME, DETERMINES,

FIRST,
THE TRUE BEARING OF THE LAND;
SECONDLY,
THE ERRORS OF LONGITUDE BY CHRONOMETER,
CONSEQUENT TO ANY ERROR IN THE LATITUDE;
THIRDLY,
THE SUN'S TRUE AZIMUTH.

WHEN TWO ALTITUDES ARE OBSERVED, AND THE ELAPSED TIME NOTED, THE TRUE LATITUDE IS PROJECTED; AND IF THE TIMES BE NOTED BY CHRONOMETER, THE TRUE LONGITUDE IS ALSO PROJECTED AT THE SAME OPERATION.

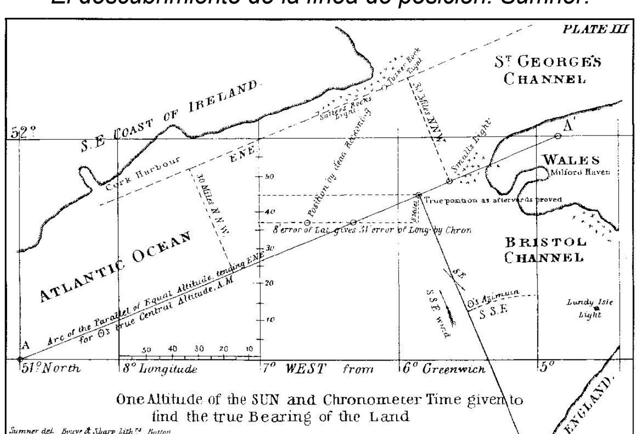
The Principles of the Method being fully explained and illustrated by Problems, Examples, and Plates,

WITH RULES FOR PRACTICE, AND EXAMPLES FROM ACTUAL OBSERVATION.

BY CAPT. THOMAS H. SUMNER.

BOSTON:
PUBLISHED BY THOMAS GROOM & CO., 82 STATE STREET.
1843.

El descubrimiento de la línea de posición. Sumner.



Históricamente los métodos más importantes empleados en la navegación astronómica son:

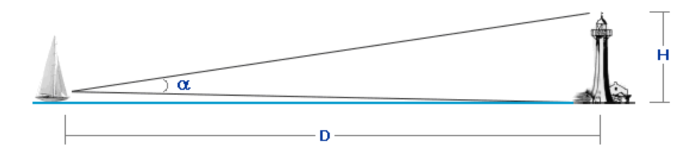
- Latitud por la altura de la estrella Polar.
- Latitud por altura meridiana de un astro.
- Circunmeridiana.
- Distancias Lunares, *hora y longitud.*
- *Método de la doble altitud.*
- *Longitud por altura meridiana de un astro, alturas correspondientes.*
- *Longitud conocida la hora del cronómetro y la latitud. Time sight.*
- Recta de altura Sumner.
- Recta de altura Marcq St.Hilaire.

Fundamentos

El objeto de la navegación astronómica es obtener la posición en la superficie de La Tierra por medio de la observación de los astros; principalmente el Sol, la Luna, y algunas estrellas y planetas (Venus, Marte, Saturno y Júpiter).

La técnica se basa en que los astros se mueven regidos por unas leyes físicas muy precisas, por lo que es posible calcular la posición exacta del astro observado en un instante de tiempo dado. Así conociendo las posiciones de dos o más astros en el cielo, y midiendo el ángulo entre estos y el horizonte visible con un sextante, se puede determinar la posición del observador.

Para ilustrar el procedimiento empleado, supongamos que estamos navegando cerca de la costa, el Sol empieza a ponerse y deseamos situarnos antes de que la noche nos envuelva y no podamos distinguir con nitidez el perfil de la costa que permite orientarnos, para ello buscamos la luz de un faro.



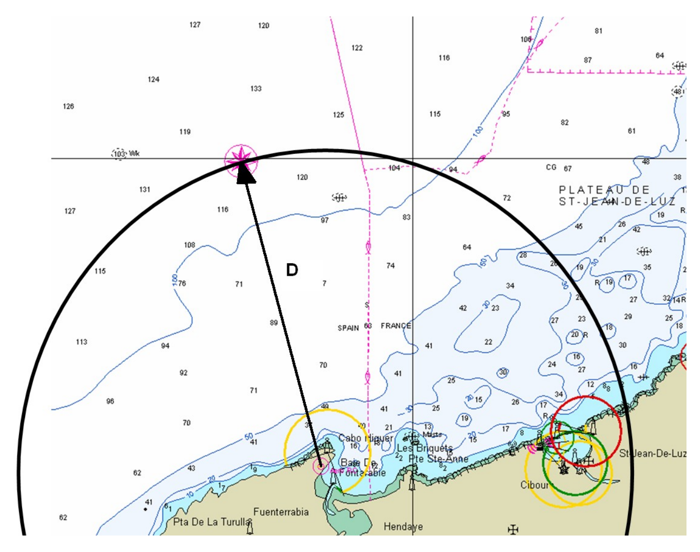
Distancia a un objeto de la costa.

Si medimos el ángulo α con el sextante, y obtenemos la altura del faro H sobre el nivel del mar en la carta náutica o el libro de faros, aproximadamente la distancia a él es:

$$D = \frac{H}{\tan \alpha}$$

Nuestra posición esta el algún lugar de una circunferencia de radio D, y centro el faro, que recibe el nombre de **Círculo de Posición, CoP**.

Con una segunda observación, se obtiene otro círculo de posición. El punto de intersección de ambos es la posición buscada. Ocurre que dos círculos se pueden cortar en dos puntos, dando dos posibles situaciones, por lo que la posición estimada u otra tercera observación solventan esta incertidumbre.



Círculo de posición referente al faro en la carta náutica.

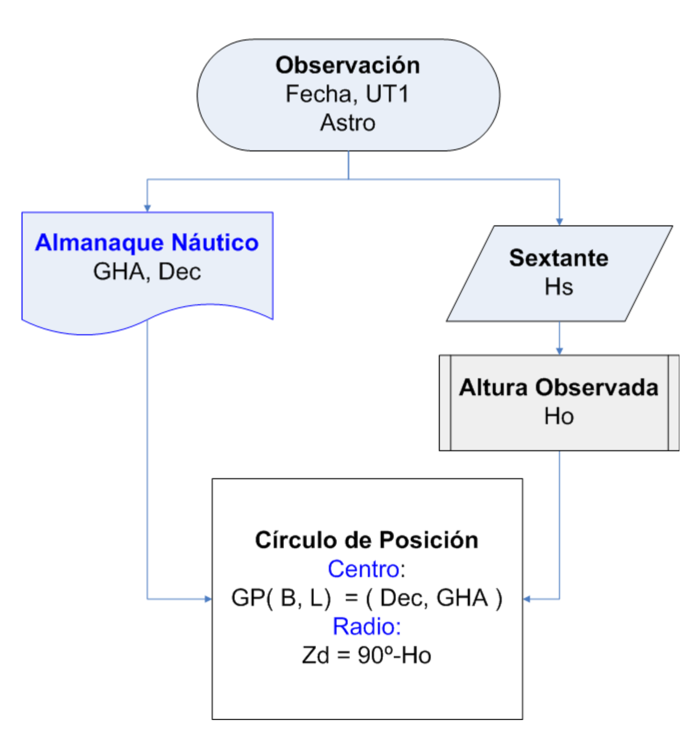
Usando este concepto básico, si en vez de la luz de un faro se observa un astro, y se mide el ángulo entre éste y el horizonte, se obtiene una línea de posición llamada círculo de altura, utilizada en navegación astronómica.

En el caso del faro, la técnica explicada para calcular nuestra posición se encuadra dentro de la navegación costera, en dónde la posición del faro es conocida y las líneas de posición se trazan en la carta náutica. Utilizando la analogía anterior, en navegación astronómica, la posición del astro también es conocida, pero no es fija como la del faro; se mueve en el firmamento siguiendo las leyes de la mecánica celeste. La proyección del astro sobre la superficie terrestre recibe el nombre de **polo de iluminación del astro**, y es el centro del círculo de altura, su radio es la distancia cenital.

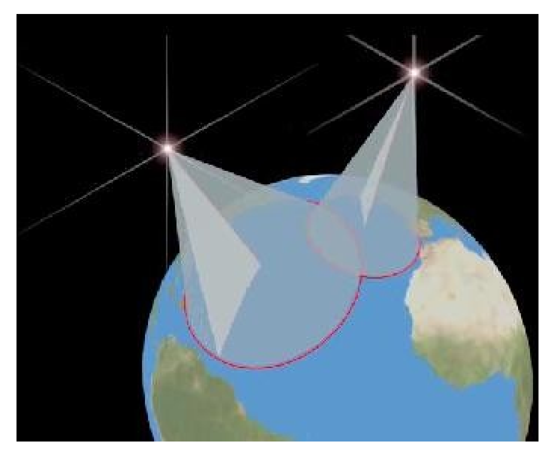
Círculo de posición o de alturas iguales

- Centro: (Latitud, Longitud) = (Dec, GHA)
- Radio = 60 (90º – Ho) millas náuticas

donde Dec es la declinación, GHA es el ángulo horario en Greenwich del astro, y Ho es la altura observada, es decir, la altura medida con el sextante corregida de error de índice, depresión del horizonte, refracción, paralaje y semidiámetro.



Parámetros del Círculo de Altura.

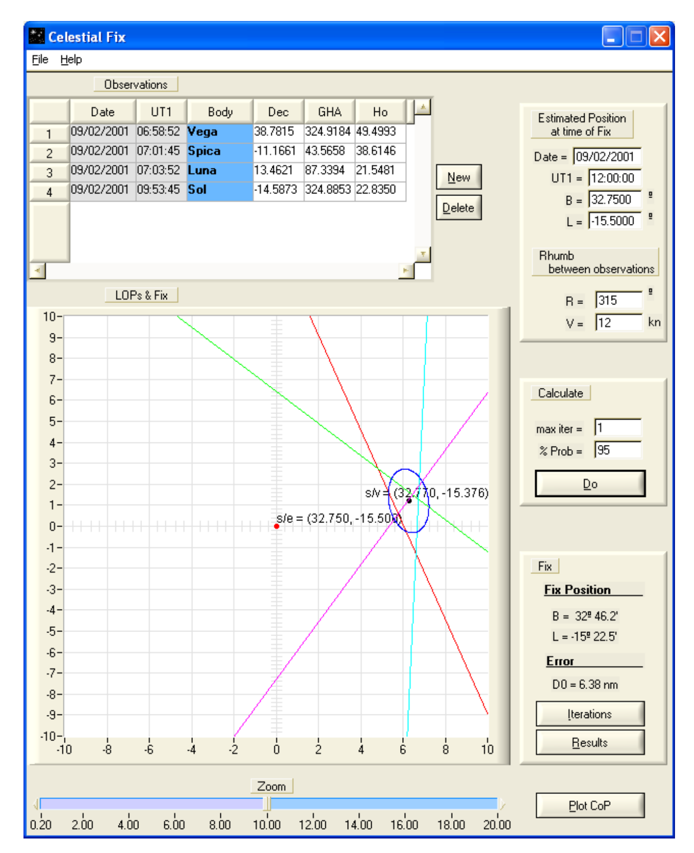


Círculos de posición correspondientes a dos observaciones simultaneas a dos astros distintos.

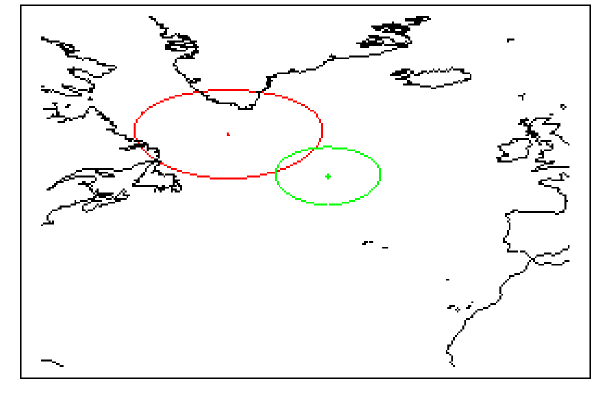
En general el radio del CoP es muy grande, por lo que es impracticable trazarlo en la carta náutica, además si la carta es de proyección mercatoriana, una circunferencia sobre la esfera terrestre queda deformada en ella.

La posición se puede hallar gráfica o analíticamente:

- Utilizando la carta náutica se traza la tangente al CoP desde un punto aproximado a nuestra posición verdadera. Esta nueva línea de posición aproximada recibe el nombre de **Recta de Altura**, la intersección de dos o más RA nos da nuestra posición.
- Existen gran variedad de métodos matemáticos para hallar la posición por intersección de círculos de altura o RA, casi todos ellos utilizan el método de los mínimos cuadrados para hallar la posición más probable. Esto hace innecesario el trazado de las líneas de posición en la carta.



Posición por cuatro rectas de altura, y elipse de confianza.



Círculos de posición sobre la carta mercatoriana.

Proceso

En la práctica, la rutina de obtención de la posición por medio de los astros en el mar conlleva una serie de pasos:

- Se identifica un astro favorable para la observación.
- Se mide su altura sobre el horizonte con el sextante: Hs.
- Se corrige la altura: Hs → Ho
- Se obtiene las coordenadas del astro en el almanaque náutico: Dec y GHA.
- Se repite el proceso para varias observaciones.
- Si las observaciones no son simultáneas, se reducen todas al mismo instante, teniendo en cuenta el movimiento del observador. (Hay diversos métodos de trasladar la recta de altura o el círculo).
- Se obtiene la posición gráficamente en una carta en blanco o analíticamente.
- Se traslada la posición así obtenida a la carta náutica: s/o. Observando el error en la posición y la cercanía de posible peligros.
- Se corrige la derrota si procede.

Observaciones con el sextante

El Sextante - breve descripción

Lectura de su graduación

Corrección de índice

- Sol
- Planetas
- estrella
- Altura meridiana

Corrección de la altura del sextante

La navegación astronómica se basa en obtener la posición en base a la observación de los astros; midiendo su altura respecto al horizonte, o su complemento la distancia cenital. Esta altura se obtiene con un instrumento que en el mar es el sextante, y en tierra puede ser un teodolito. Sea como fuere su obtención, es necesario aplicar a la medida obtenida una serie de correcciones para obtener una altura reducida al centro de la Tierra y libre de efectos como la refracción debida a la atmósfera terrestre.



Sextante con pie metálico, siglo XVIII Stancliffe London 1790. Imagen cedida por el Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando, Cádiz, España. (Nº INV. ROA: 0026/I) http://www.roa.es

A continuación se describen las fórmulas empleadas en la obtención de las distintas correcciones a aplicar a la altura instrumental, cuyos valores están tabulados en el *Almanaque Náutico*.

Variables

Hs	Altura instrumental
IE	Error instrumental o de índice
Dip	Depresión del horizonte
H	Altura aparente
HP	Paralaje horizontal
PA	Paralaje en altitud
SD	Semi-diámetro
Ho	Altura observada
R	Refracción atmosférica
P	Presión atmosférica
T	Temperatura

Correcciones a la Altura Instrumental

Se deben hacer varias correcciones a la altura del astro, **Hs**, medida con el sextante, para obtener la altura observada, **Ho**, necesaria para obtener el círculo de alturas iguales o el determinante de la recta de altura del astro.

Estas correcciones tiene en cuenta:

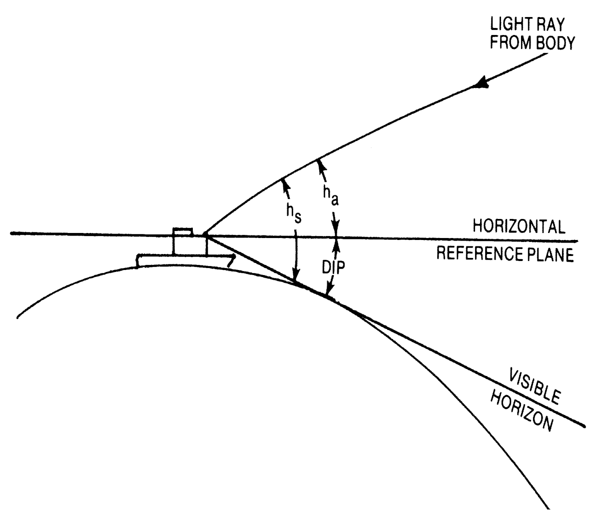
- Errores intrínsecos al sextante: **IE**
- La altura del ojo del observador
- Ajuste de la lectura equivalente en el centro de La Tierra, y en el centro del astro.
- La refracción debida a la atmósfera terrestre
- Otros.

Corrección por Depresión del Horizonte

Tiene en cuenta la diferencia entre los horizontes celeste y visible, debido a la altura del ojo del observador

Dip = 0.0293 * SQRT(h) [º]

h: altura del ojo del observador sobre el nivel del mar, [m]



Altura del sextante, altura aparente y corrección Dip.

Altura Aparente

Es la altura medida con el sextante corregida del error de índice, y del debido a la altura de ojo del observador:

H = Hs + IE - Dip

Corrección por Refracción

Para la atmósfera terrestre standard:

- T = 10ºC
- P = 1010 mb

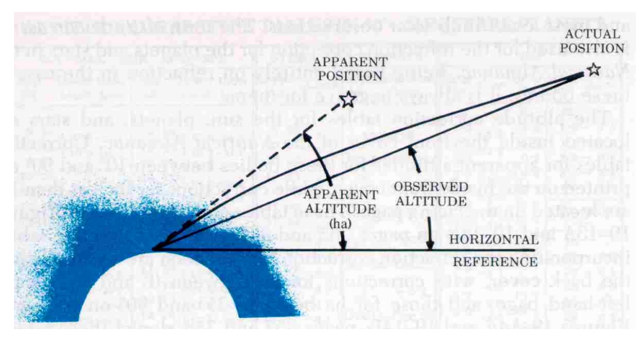
el valor de la refracción es (G. G. Bennett, 1982, Journal of the Institute of Navigation, volume 35, page 255.):

Ro = 0.0167 / (tan (H + 7.31) / (H + 4.4)) [º]

Si la observación se efectúa bajo condiciones no estándares de T y P:

f = 0.28 * P/ (T+ 273)

R = f * Ro



Efecto de la refracción atmosférica.

Correcciones Adicionales

Para una estrella: Ho = H - R

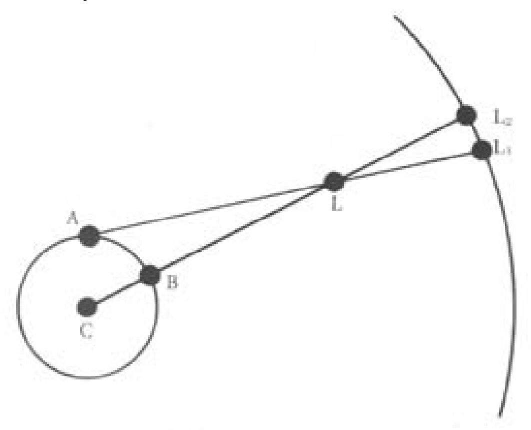
Correcciones adicionales para el Sol, La Luna, y los planetas:

- Paralaje horizontal (Sol, La Luna, Venus, y Marte)
- Semidiámetro del astro (Sol, La Luna)
- Aumento del Semidiámetro (La Luna)

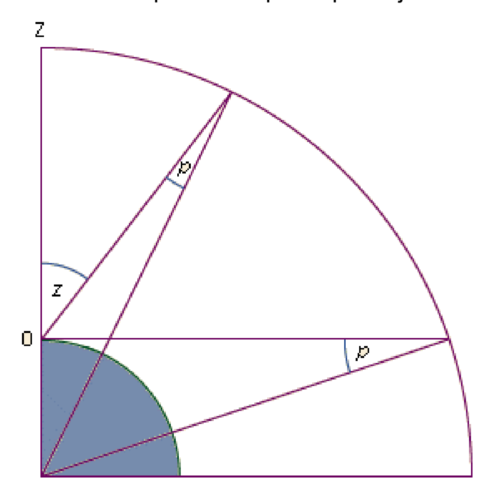
Corrección por Paralaje

La paralaje es la diferencia de los ángulos que forman con la vertical las líneas dirigidas a un astro desde el punto de observación y desde el centro de la Tierra.

La corrección correspondiente ajusta la lectura equivalente en el centro de La Tierra.



Efecto producido por la paralaje.



Astros afectados: El Sol, La Luna, y los planetas Venus y Marte, principalmente.

Para el Sol aproximadamente:

HP = 0.0024°

Para La **Luna**, se tiene en cuenta además el achatamiento de La Tierra, (Oblateness of the Earth):

OB = 0.0032*(SIN(2B)*COS(z)*SIN(H)-SQ(SIN(B))*COS(H)) [º]

- B: Latitud del observador
- z: Acimut de La Luna

En latitudes medias y para altitudes de la Luna H < 60º, se puede tomar de forma aproximada:

$$OB = -\ 0.0017 * \cos H$$

La corrección por paralaje viene dada por la expresión:

$$\mathbf{PA = HP * COS(H) + OB}$$

Corrección por Semidiámetro

Ajuste de la lectura equivalente en el centro del astro

Astros afectados: El Sol, La Luna, algunos planetas.

Signo aritmético según el limbo utilizado al medir Hs:

- (+) Limbo inferior
- (-) Limbo superior

Valores aproximados:

- El Sol SD = 16’
- La Luna SD = 0.2724° * HP

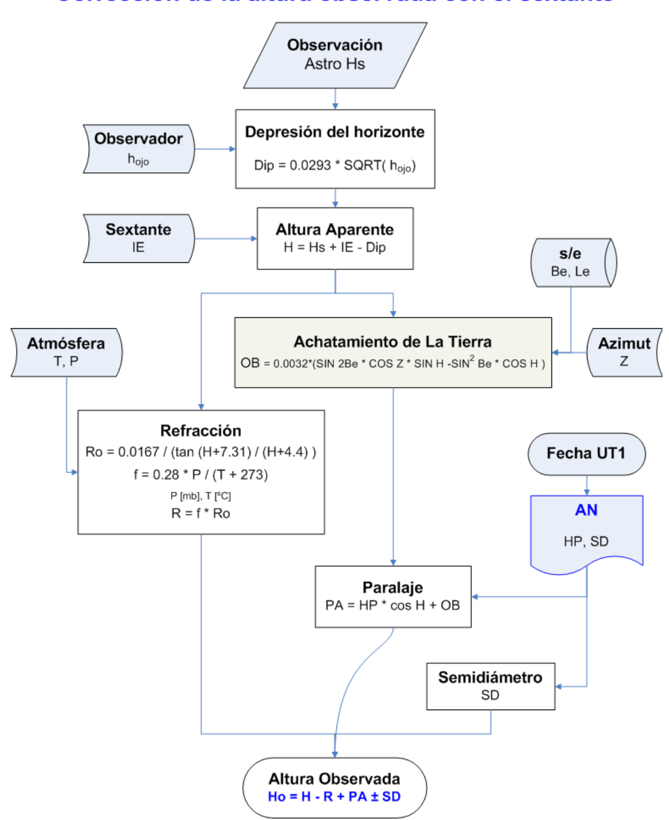
La Altura Observada Ho

A partir de la altura instrumental, se obtiene la altura observada o verdadera, sumando todas las correcciones. Es la altura aparente corregida de refracción y si procede de paralaje y semidiámetro.

$$\mathbf{H = Hs + IE - Dip}$$

$$\mathbf{Ho = H - R + PA \pm SD}$$

Algoritmo

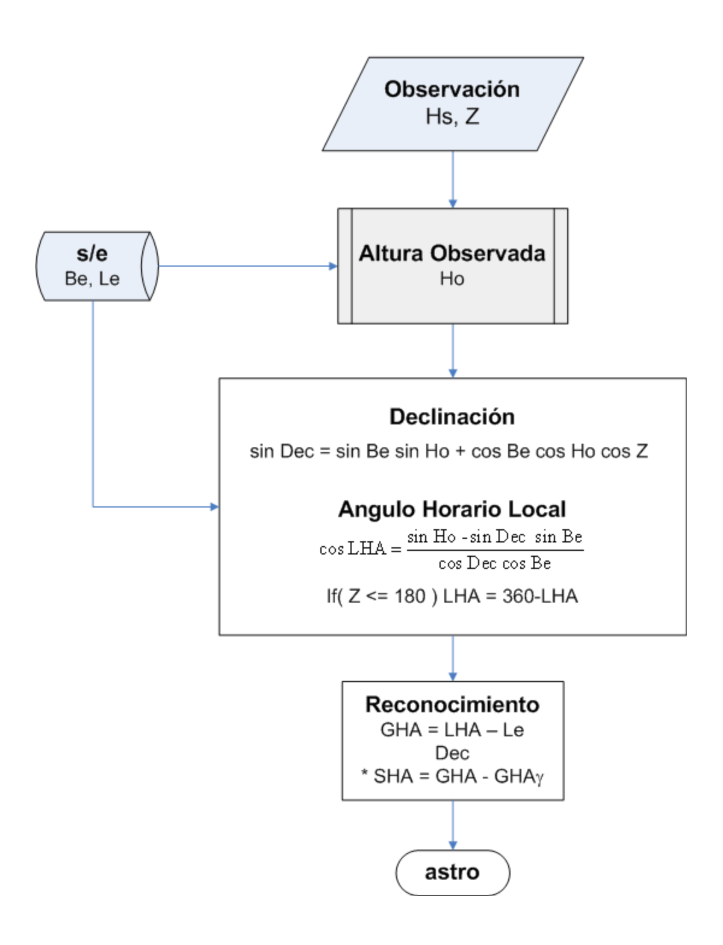


Reconocimiento de astros

El problema se reduce a conocidas la situación de estima del observador, (o la situación exacta), la hora la observación, y la altura y el azimut del astro desconocido, hallar su horario, su declinación e identificarlo.

Es un cambio de coordenadas horizontales a ecuatoriales egocéntricas (horarias).

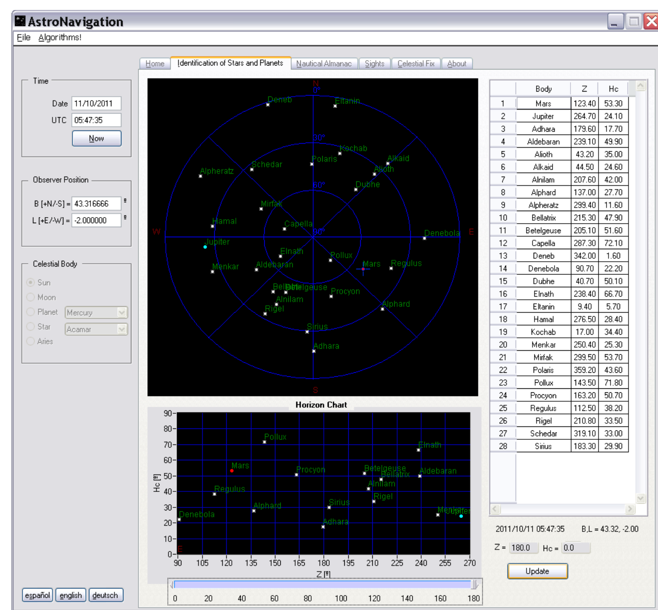
Las ecuaciones empleados para ello son:



Existen diversos útiles que ayudan en esta labor como:

- Tablas para el reconocimiento de los astros.
- Identificadores de astros.
- Software específico.

En la práctica el reconocimiento se efectúa sobre las estrellas, y raramente sobre algún planeta. Es por ello, que si no hay indefinición, se puede utilizar Hs en vez de Ho como simplificación. Como latitud y longitud, necesarias para el cálculo, se toman las de estima, y como azimut, él medido con un compás de marcar, da una precisión más que suficiente para este propósito.



Software para la identificación de astros.

Astro en el meridiano

Al encontrarse el astro en el meridiano superior o inferior, el cálculo se simplifica notablemente:

- meridiano superior: LHA = 0º
- meridiano inferior: LHA = 180º

El error es aceptable en las proximidades del meridiano, es decir cuando su azimut difiera no más de 5º del que tendría en el meridiano.

El círculo de alturas iguales

El lugar geométrico de la esfera terrestre en el cual un observador ve un astro, en un instante determinado, con la misma altura observada, Ho, es una circunferencia de centro el polo de iluminación del astro observado, cuyo radio es el arco de círculo máximo de valor la distancia cenital.

Esta línea de posición curva recibe el nombre de círculo de alturas iguales, o círculo de posición; CoP, cuyos parámetros son:

- Centro = Polo de iluminación del astro: (B, L) = (Dec, GHA)
- Radio = Distancia cenital. zd [nm] = 60*(90º - Ho)

Es la verdadera línea de posición en navegación astronómica. Cualquier punto (B,L) de dicha circunferencia satisface la ecuación:

sin H = cos B cos Dec cos (GHA+L) + sin B sin Dec

donde

Para el observador:

- B - Latitud (-S/+N)
- L - Longitud (-W/+E)

Para el astro observado:

- GHA – Angulo Horario en Greenwich
- Dec – Declinación (-S/+N)
- H – Altura del astro sobre el horizonte

- LHA = GHA + L

Para esta formulación los intervalos son:

-90 [S] ≤ Dec ≤ +90º [N]
0 ≤ GHA ≤ 360º (W to E)
0 ≤ H ≤ 90º
-90 [S] ≤ B ≤ +90º [N]
-180 [W] ≤ L ≤ +180º [E]

El denominación de círculo aplicado a esta línea de posición es incorrecta, al tratarse de una circunferencia, por o tanto en español lo correcto es hablar de “circunferencia de alturas iguales”. Se conserva el apelativo de círculo debido a que en la literatura en ingles, históricamente se le denomina “circle of position” o “circle of equal altitude”

Astro en el zenit

Cuando el astro esta en el zenit su altura es H=90º y el radio del CoP es nulo, degenerando este a un punto, por lo que el observador esta en el GP.

Extremely High Altitude Sights

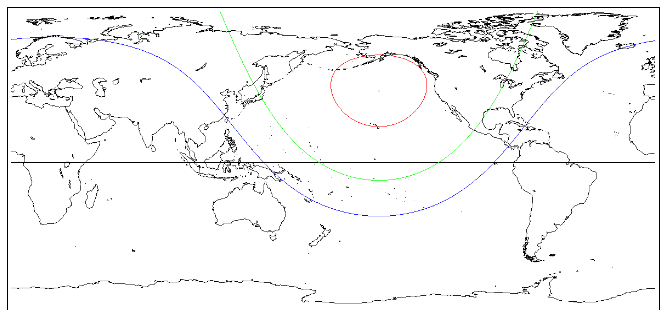
En el caso particular de que la altura sea muy alta H>87º, es posible una solución gráfica. Esto es debido a que el radio del círculo es lo suficientemente pequeño como para despreciar la distorsión producida al ser proyectado en la carta mercatoriana, pudiéndose trazar en ella con un compás.

El error depende de la altura:

Ho	Error
82º	0.7’
84º	0.3’
86º	0.1’

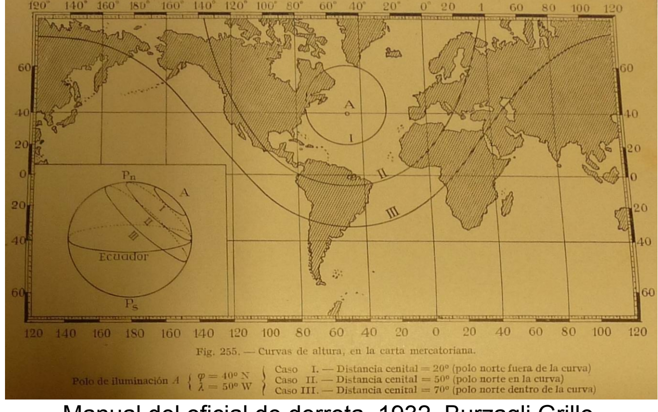
Tipos

Los círculos de altura se pueden clasificar en tres tipos según la posición del polo, siendo su proyección mecatoriana como se aprecia en las figuras siguientes:



Tipos de círculos de alturas iguales.

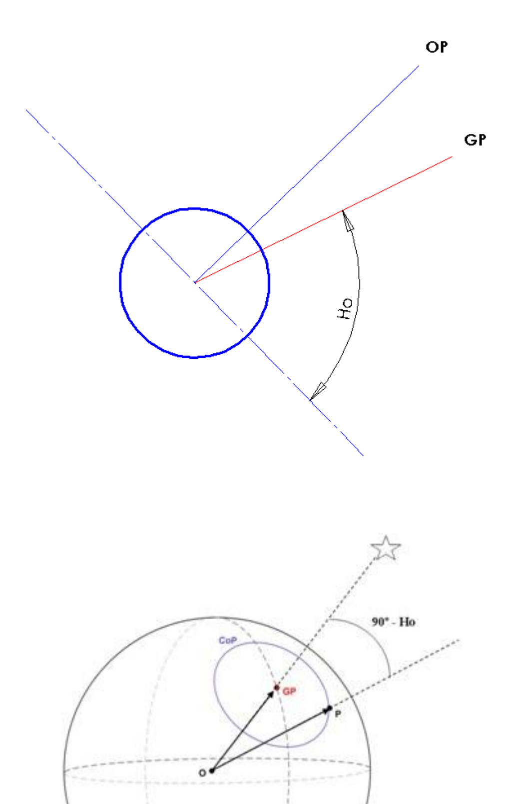
Cop		GHA	Dec	Ho
tipo I	Polo fuera del CoP	155	40	70
tipo II	Polo en el CoP	155	40	40
tipo III	Polo dentro del CoP	155	40	20



Manual del oficial de derrota. 1932, Burzagli,Grillo.

Ecuación vectorial

Sean los puntos P -posición del observador- en el momento de la observación, y GP -posición geográfica- del astro en el mismo instante; su polo de iluminación. El producto escalar de los vectores definidos por el centro de la Tierra y estos puntos es el coseno del ángulo entre ellos, que es la distancia cenital del astro observado.



La ecuación vectorial del círculo de alturas iguales es:

$$OP \bullet GP = \cos(90^\circ - H)$$

Donde los dos vectores en coordenadas cartesianas son:

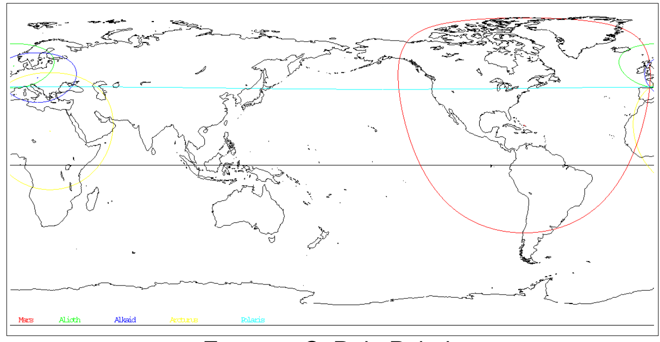
$$\{OP\} = \begin{bmatrix} \cos B \cdot \cos L \\ \cos B \cdot \sin L \\ \sin B \end{bmatrix}$$

$$\{GP\} = \begin{bmatrix} \cos Dec \cdot \cos GHA \\ -\cos Dec \cdot \sin GHA \\ \sin Dec \end{bmatrix}$$

Casos particulares de círculos de altura

Latitud por la altura de la estrella Polar

Debido a las particularidades de la estrella Polaris, el círculo de altura, (correspondiente a una observación de su altura), tiene el centro muy cerca del polo norte geográfico, confundiéndose más o menos con el paralelo de latitud del observador.



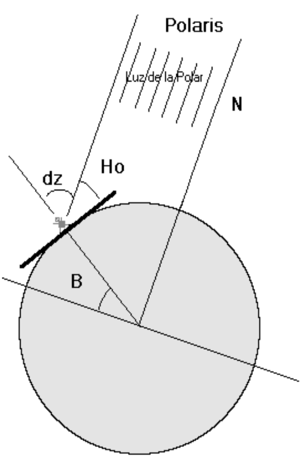
En cyan, CoP de Polaris

De la ecuación del CoP, aplicando las restricciones asociadas a α Ursae Minoris, se deduce que la latitud del observador es aproximadamente la altura de la estrella:

$$\sin H = \sin Dec \sin B + \cos Dec \cos B \cos LHA$$

Dec≈90º y Z≈N

$$\sin H \approx \sin B \rightarrow B \approx H$$



Mediante un desarrollo en serie de Taylor se llega a la expresión utilizada para su cálculo y que corrige el error en la aproximación anteriormente citada:

$p = 90^\circ - Dec$

$B = Ho - p \cos LHA + 1/2\ p \sin p \sin^2 LHA \tan Ho$

Latitud por altura meridiana de un astro

Este método es uno de los más simples y fiables que puede usar el navegante.

Al mediodía el triángulo de posición degenera en un arco de meridiano, con lo que el cálculo se simplifica notablemente:

Paso por el meridiano superior del lugar

LHA = 0º

La ecuación del círculo de altura queda:

$$\sin H = \sin Dec \sin B + \cos Dec \cos B$$

$$\sin H = \cos(Dec - B) = \sin(90 - (Dec - B))$$

H = 90-Dec+B

B= Dec-(90-H), situación que se da para el astro al N del observador (Z = 000º)

$$\sin H = \cos(B - Dec) = \sin(90 - (B - Dec))$$

H = 90-B+Dec

B = Dec+(90-H), situación que se da para el astro al S del observador (Z = 180º)

Paso por el meridiano inferior del lugar

LHA = 180º

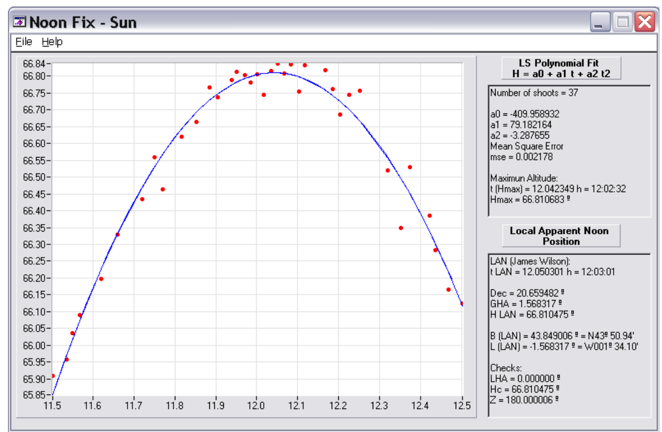
La ecuación del círculo de altura queda:

$$\sin H = \sin Dec \sin B - \cos Dec \cos B$$

El astro es visible si H > 0º

$$\sin H = -\cos(B + Dec) = -\sin(90 - (B + Dec))$$

B = H +cDec = H +90º - Dec



Cálculo de la posición al mediodía.

La principal dificultad del método radica en encontrar el instante del mediodía aparente local. Si la variación de la declinación del astro con el tiempo no es muy grande, (estrellas), y el movimiento del observador no introduce un cambio en su latitud apreciable, se puede considerar que el mediodía se produce cuando la altura del astro es máxima. En el caso de que tales supuestos no se den, el método es más complicado. El algoritmo exacto se recoge al final de este capítulo.

Longitud por altura meridiana de un astro

La longitud en el instante del mediodía aparente local es función del tiempo transcurrido desde que el astro pasa por el meridiano cero de Greenwich.

El astro comúnmente utilizado es el Sol. Recibiendo esta técnica el nombre de: *Longitud por alturas correspondientes.*

El cálculo de la longitud al mediodía es muy simple, distinguiéndome dos casos:

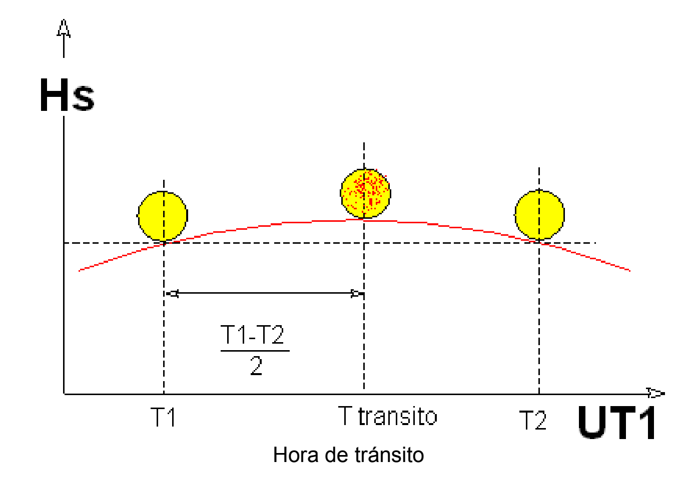
Tránsito por el meridiano superior

LHA = GHA + L = 0º → L = GHA

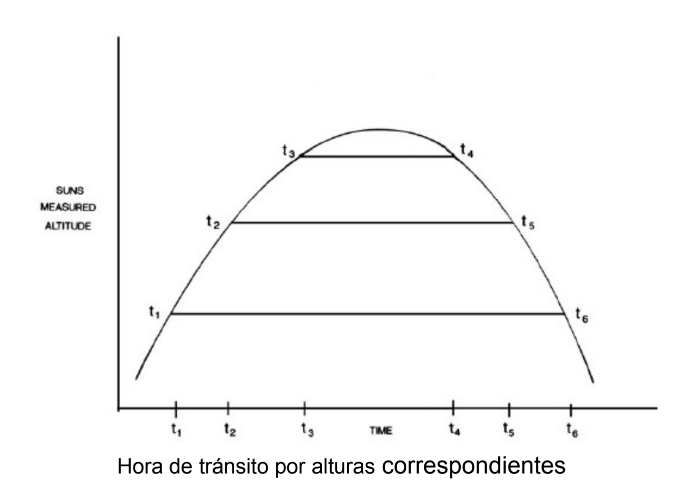
Tránsito por el meridiano inferior

LHA = GHA + L = 180º → L = 180º – GHA

La dificultad intrínseca al método, al igual que en el caso de la latitud, está en encontrar el instante del mediodía aparente local (*LAN Local Apparent Noon*): L = f(GHA(hora LAN)).



Teniendo en cuenta las mismas consideraciones que para el cálculo de la latitud. La hora de Tránsito se suele calcular como se indica.



Hora de tránsito por alturas correspondientes

Se fijan tres alturas con el sextante y se mide la hora en que se alcanzan antes y después del mediodía. Suponiendo simétrica la curva respecto al mediodía, se obtiene el instante en que se produce:

TA = (t1+t6)/2

TB = (t2+t5)/2

TC = (t3+t4)/2

LAN = (TA+TB+TC)/3

El error en la longitud esta íntimamente unido a la precisión con la que se obtiene la hora del mediodía.

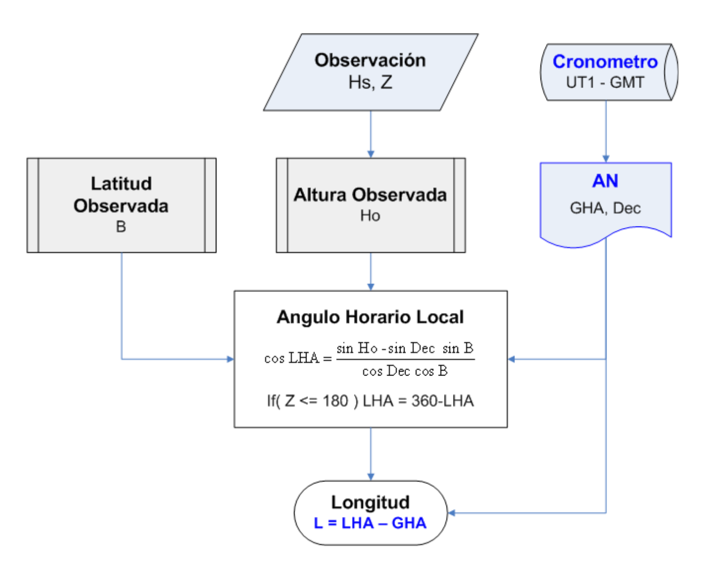
Longitud conocida la hora del cronómetro y la latitud.

-Time Sight-

Cuando la hora a bordo pueda ser obtenida de forma precisa por medio de un cronometro marino, y se haya obtenido previamente la latitud por otro medio, es posible calcular la longitud directamente a partir de otra observación:

Si la latitud, B, es conocida en ángulo horario local, LHA, puede ser hallado mediante la fórmula:

sin H = sin DEC sin B + cos DEC cos B cos LHA



Geométricamente representa la intersección del círculo de alturas iguales con el paralelo de latitud.

La recta de altura

En navegación astronómica la línea recta, llamada recta de altura, RA, es en realidad una aproximación al círculo de posición en el entorno cercano a la situación verdadera del observador, en donde se confunde arco y cuerda o arco y tangente. La situación se obtiene por intersección de dos o más rectas de altura como aproximación a la intersección de los correspondientes CoPs. Este ingenioso artificio matemático permite simplificar notablemente los cálculos para obtener la posición, pudiéndose resolver el problema de forma gráfica sobre la carta náutica mercatoriana.

El **determinante** de una recta de altura es el conjunto de datos necesarios para definirla unívocamente.

Hay dos clases de rectas de altura:

1. Las secantes al CoP.
2. Las tangentes al CoP.

Las secantes tiene dos puntos en común con el CoP, y las tangentes tienen únicamente uno.

En las *secantes* el determinante esta constituido por dos puntos del CoP cercanos a la posición estimada. Hay dos tipos:

1. Recta Sumner o secante por corte con los paralelos.
2. Secante por corte con los meridianos.

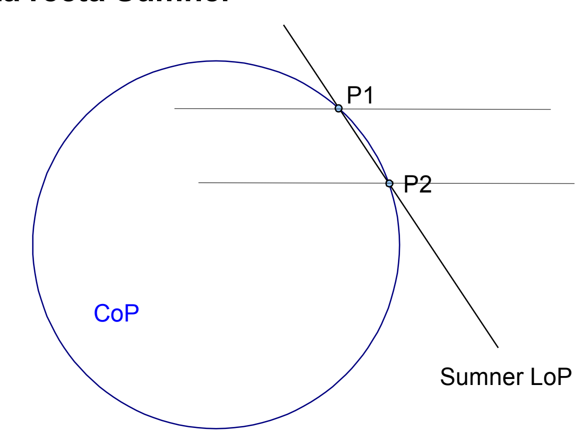
En las *tangentes,* el arco de CoP cercano a la posición del observador se sustituye por la loxodrómica tangente al CoP. Dicha línea es normal al azimut.

Hay tres tipos:

1. Tangente Johnson, (método de la longitud).
2. Tangente Borda (tangente cerca del meridiano, método de la latitud).
3. Tangente Marcq de Saint-Hilaire, (tangente punto aproximado).

Por su generalidad, simplicidad y robustez, hoy en día se utiliza casi exclusivamente la recta Marcq.

La recta Sumner



CoP y recta Sumner.

El método para su obtención es como sigue: dadas la latitud de estima y la altura verdadera observada, se hayan en el almanaque náutico las coordenadas ecuatoriales geocéntricas del astro observado. Se toman dos latitudes de cálculo a partir de la estimada, y se calculan las longitudes de corte de los paralelos elegidos con el círculo de posición.

(Be, Ho)

Almanaque Náutico (fecha, UT1, Astro) → (GHA, Dec)

Be → (B1, B2)   B2-B1 < 1º

B1 = Be - 5/60

B2 = Be + 5/60

(Ho, B1, Dec) → LHA1

(Ho, B2, Dec) → LHA2

cos LHA = (sin Ho - sin Dec sin B)/(cos Dec cos B)

if(Z < 180º) LHA = 360 – LHA

(GHA, LHA1) → L1

(GHA, LHA2) → L2

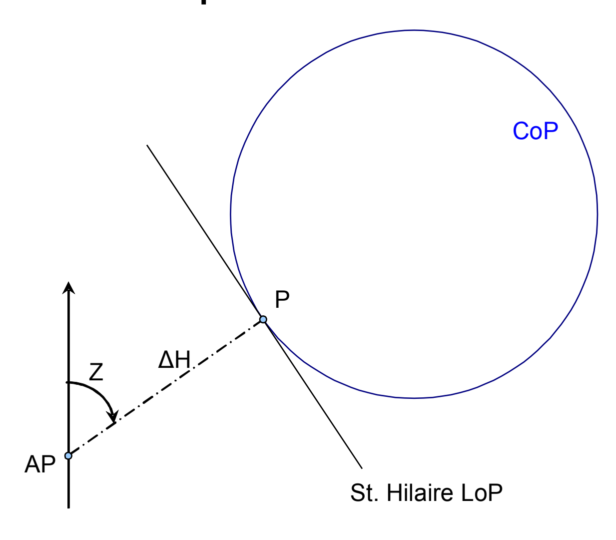
L = LHA – GHA

La recta Sumner queda definida por los puntos así calculados: LoP = P1P2

P1(B1, L1)

P2(B2, L2)

La recta Marcq St. Hilaire



CoP y recta Marcq.

El método de Marcq St. Hilaire (MSH) en navegación astronómica usa la recta tangente al círculo de alturas iguales por un punto cercano a la posición real, se suele tomar la situación estimada s/e u otra más conveniente cercana a esta. El método reduce el problema a la intersección de varias rectas de altura en el plano para obtener la situación.

- Es necesario conocer la posición estimada. Puede ser usada otra posición cercana a la s/e sin error adicional apreciable.
- Este método es aproximado. El único punto en común con el CoP es el de tangencia, definido por el determinante: s/e(Be, Le), (p, Z).

Asumiendo la diferencia de alturas suficientemente pequeña, las coordenadas de ese punto común entre el Cop y la LoP son:

p = (Ho-Hc)
x = p*SIN(Z)
y = p*COS(Z)

B = Be + y
Bm = (Be + B)/2
L = Le + x/COS(Bm)

Cualquier punto en la LoP difiere de su correspondiente en el CoP en una cantidad (Bowditch Table 19 Offsets):

- D - distancia a lo largo de la LoP desde el determinante [nm]

R = (60*180/PI) / TAN(H)
theta = ASIN(D/R)
Offset = R*(1-COS(theta))

La intersección de dos LoPs es un punto que no pertenece a los CoPs, pero que está suficientemente cerca a la solución definida por la intersección de los CoPs. La posición definida por este punto se puede dar por buena sin cometer un error inaceptable en navegación.

El proceso es en realidad iterativo; si se toma como nueva situación estimada el punto obtenido anteriormente y se repite el proceso, se puede mejorar la solución reduciendo el error, estando el nuevo punto obtenido más cerca de la verdadera posición. Si la s/e inicial es suficientemente buena, en la práctica se da por correcta la solución obtenida tras una iteración, (o gráficamente tras un único trazado inicial de las LoP en la carta mercatoriana).

El proceso general para obtener una recta de altura a partir de la observación de un cuerpo celeste comprende una serie de pasos:

- Corregir la altura medida con el sextante, Hs, para obtener la altura observada, Ho.
- Determinar las coordenadas del astro observado: GHA, Dec
- Seleccionar una posición asumida, AP, a partir de la posición de estima, y calcular su ángulo horario local, LHA.
- Obtener la altura calculada y el azimut para la posición asumida. (Se suelen emplear las tablas náuticas, un ordenador o una calculadora).
- Comparar las alturas calculada y observada.
- Trazar la recta de altura

El **determinante** de la recta MSH está constituido por la s/e o posición asumida, la diferencia de alturas y el azimut:

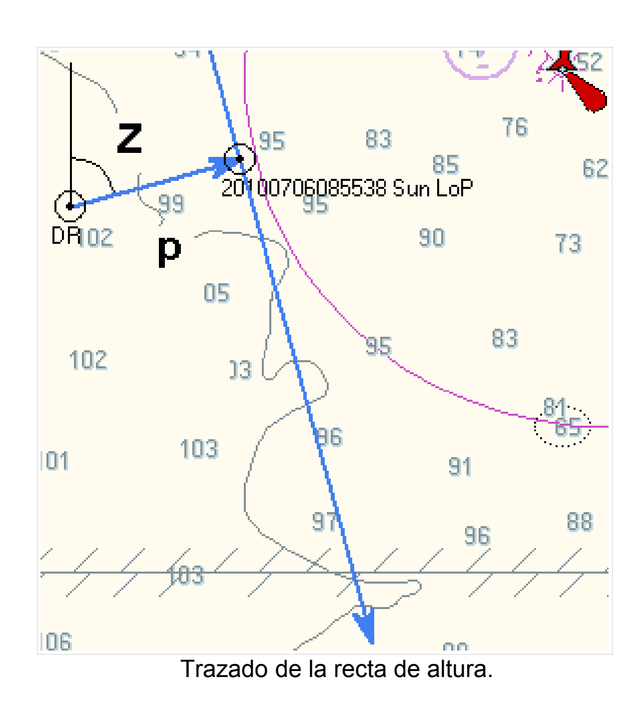
LHA = GHA + Le

sin Hc = sin Be sin Dec + cos Be cos Dec cos LHA

cos Z = (sin Dec - sin Hc sin Be)/(cos Hc cos Be)

if(0 < LHA < 180º) Z = 360 – Z

Para el **trazado** se emplea una carta náutica mercatoriana, generalmente en blanco, o una hoja de ploteo (Universal Plotting Sheet). Se dibuja la posición asumida y partir de ella se traza el azimut del astro, la recta se dibuja perpendicular al azimut llevando sobre este la diferencia de alturas:

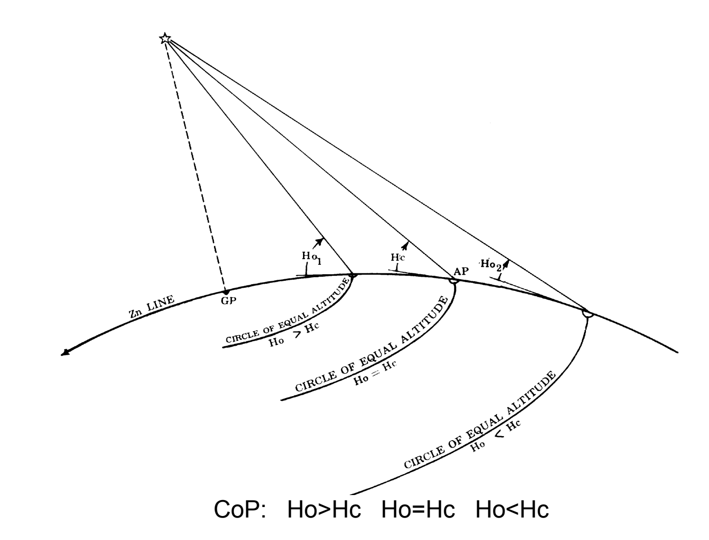


Trazado de la recta de altura.

RA ⊥ Z

p = 60(Ho-Hc) [nm]

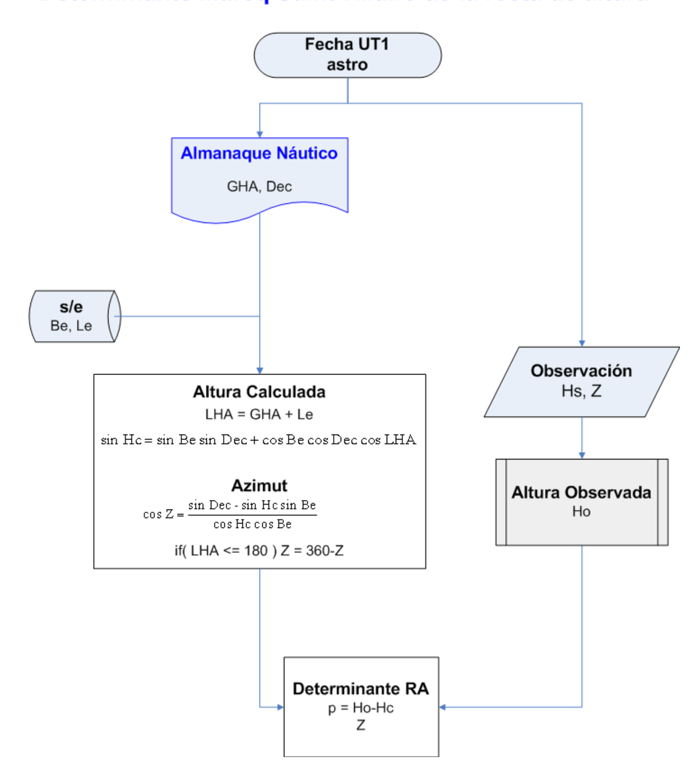
- p = +, Ho > Hc: Según Z
- p = -, Ho < Hc: En sentido contrario a Z



CoP: Ho>Hc Ho=Hc Ho<Hc

Si p es positiva, la recta de altura se traza perpendicular al azimut.

Si p es negativa, la recta de altura se traza desde la posición asumida en dirección opuesta al azimut: según Z+180º.



Observaciones no simultáneas

Las observaciones pueden ser tomas por varios observadores de forma simultánea, aunque generalmente las toma una sola persona en instantes de tiempo distintos, por lo que deben ser reducidas a un mismo instante; la hora en que se desea obtener la posición observada.

El movimiento del observador

Existen diversas técnicas para tener en cuenta el movimiento del observador entre observaciones. Este queda definido por su derrota: rumbo R y velocidad v.

Se puede mover el un círculo de altura, o la recta de altura.

Ajuste del radio del círculo de altura

Este método aproximado se basa en ajustar la altura manteniendo el azimut:

$$Z(t_1) = Z(t_2)$$

$$d = v*(t_2-t_1)$$

$$Ho(t_2) = Ho(t_1) + d * \cos(R-Z)$$

Es un método muy simple que da buenos resultados siempre que la distancia navegada no sea muy grande.

Ajuste del centro del círculo de altura

Lo correcto es ajustar las coordenadas del polo de iluminación del astro; el centro del CoP.

$dec = dec(t_1)$

$GHA = GHA(t_1)$

$dec(t_2) = f(GHA, dec, Be(t_2), Le(t_2), R, V)$

$GHA(t_2) = f(GHA, dec, Be(t_2), Le(t_2), R, V)$

Existen diferentes métodos para efectuar el traslado exacto de esta línea de posición (Metcalf, Kaplan).

Traslado de una recta de altura - Método gráfico

Se procede de la misma forma que al trasladar líneas de posición en navegación costera: la recta de altura se mueve paralelamente a si misma teniendo en cuenta el rumbo y la distancia navegada.

Traslado de una recta de altura- Método analítico

Una recta MSH se puede trasladar moviendo el punto (B,L) a partir del cual se traza la línea (p,Z), afectándolo del movimiento del observador.

Otra forma utilizada consiste en ajustar la diferencia de alturas p, manteniendo el azimut. Es equivalente a ajustar la altura del CoP.

La situación

Dependiendo del numero de observaciones, n, que intervienen en el cálculo, el problema presenta diversos casos:

n = 2 observaciones - el problema está indeterminado. Matemáticamente es posible obtener dos soluciones, pero no la posición observada. Para ello es necesaria información adicional proveniente de:

- otra observación,
- la posición estimada
- la hora del lugar
- El azimut del astro
- Información aproximada acerca de dónde estamos. (si una solución está en el Sahara y la otra en al Atlántico, ¡está claro!).

n = 3 observaciones - el problema está determinado. No es necesaria la situación de estima.

n >= 4 observaciones – el problema está sobredeterminado. La solución se basa en el método de los mínimos cuadrados y se obtiene la posición más probable.

Soluciones gráficas

Situación por rectas de altura MSH

Una forma muy cómoda de trabajar es trasladar analíticamente las rectas y calcular la situación de forma gráfica:

- A partir de la situación estimada a la hora en que se desea obtener la situación observada s/o, se obtiene la latitud y la longitud en el momento de cada observación, y se utiliza para hallar la altura calculada y el azimut.
- Para calcular la posición se utiliza una hoja de ploteo (Universal Plotting Sheet) utilizando como origen común para el trazado de todas las líneas de posición el centro del diagrama, que corresponde a la situación estimada en el instante de la s/o.

Por ejemplo para dos rectas MSH cuyas alturas se miden en dos instantes de tiempo distintos t_1 y t_2 y es conocida por estima la posición en la última observación, se procede como se indica:

Derrota entre observaciones: R,v

t_1:

- Almanaque náutico → $(GHA,Dec)_1$
- Sextante → Hs_1 → Ho_1

t_2:

- s/e (B_2,L_2)
- Almanaque náutico → $(GHA,Dec)_2$
- Sextante → Hs_2 → Ho_2

Primera recta MSH:

- traslado según el rumbo R , una distancia $d = v^*(t_1-t_2)$
- $(B_1,L_1) = f(B_2, L_2, d, R)$
- $(Hc,Z)_1 = f(Ho_1, dec_1, GHA_1, B_1, L_1)$

Segunda recta MSH:

- $(B_2,L_2) = s/e(t_2)$
- $(Hc,Z)_2 = f(Ho_2, dec_2, GHA_2, B_2, L_2)$

Situación en t2:

- Por intersección de las dos RA trazadas a partir de (B_2,L_2)

La bisectriz de altura

Dadas dos rectas de altura, la bisectriz de altura es la recta obtenida de trazar la bisectriz del ángulo formado por los dos acimutes trazados en la intersección de dichas rectas de altura. Su dirección viene dada por:

$$\theta = 1/2(Z_1+Z_2)$$

La bisectriz de altura solo puede ser considerada como una línea de posición cuando no haya errores accidentales en las alturas observadas.

La situación por corte de bisectrices de altura tiene la ventaja de corregir los errores sistemáticos de las observaciones.

Soluciones analíticas

Situación por meridiana y time sight

Este sencillo método tradicional de obtener la posición calculando las dos coordenadas por separado, se basa en dos observaciones; una primera al mediodía donde se haya la latitud por altura meridiana, para posteriormente calcular por medio de un *time sight* la longitud, utilizando la latitud verdadera calculada al mediodía y afectada del movimiento del observador:

Observación Ho_1→ $B(t_1)$
Derrota entre observaciones:
$d = v(t_2-t_1)$
$B(t_2) = B(t_1) + d \cos R$
Observación Ho_2→ $L(t_2)$

Generalmente se emplea el Sol para las dos observaciones.

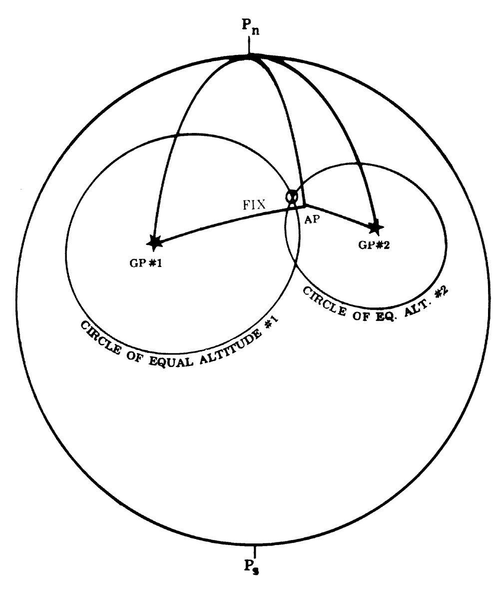
Situación por la polar y time sight

Como anteriormente, se obtiene por separado la latitud, en este caso en base a una observación de la estrella Polaris, y la longitud por otra observación.

Elegido el segundo astro, observable en condiciones favorables, es preferible efectuar la observación en un tiempo no muy lejano de la primera, y evitar de esta forma los errores debidos al rumbo y a la velocidad entre ambas mediciones.

Posición a partir de 2 círculos de altura

Existen diversos métodos que permiten calcular de forma numérica las coordenadas de la intersección de dos círculos de alturas iguales. Entre todos desatacan los siguientes:

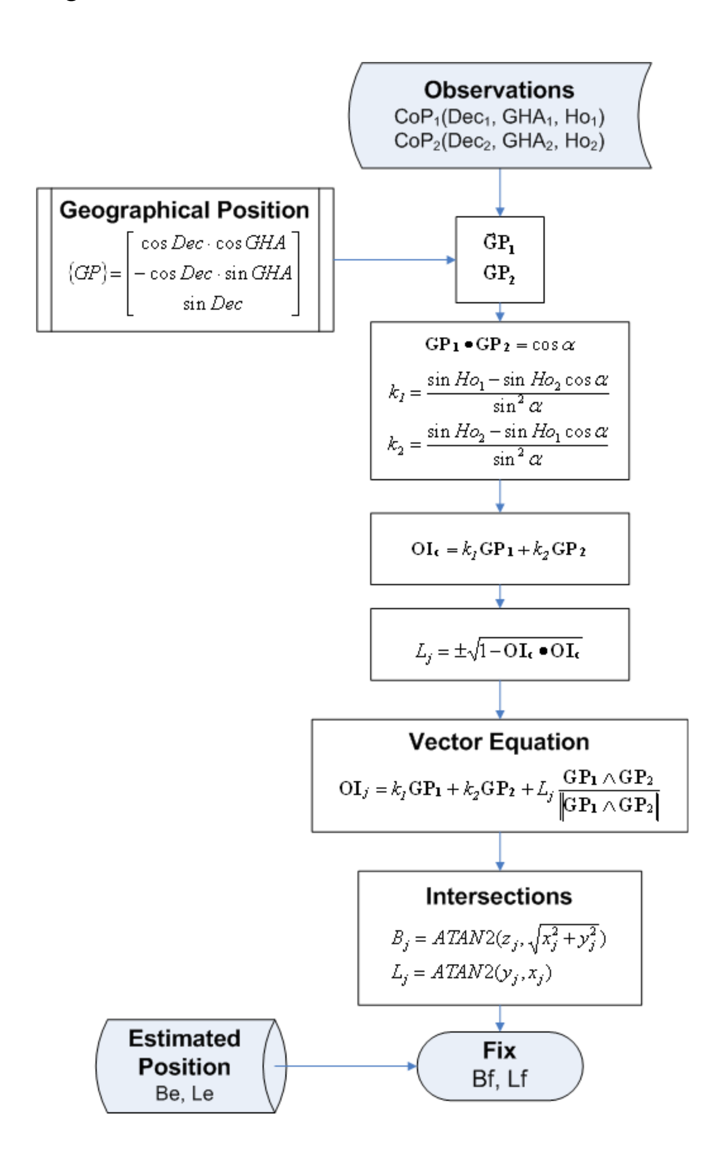


Posición por intersección de 2 CoP.

- Solución trigonométrica. Gauss.
- Solución geométrica. Van Allen.
- Solución Vectorial. Andrés Ruiz.
- Solución iterativa.
- Solución compleja. Robin Stuart.

Solución vectorial

Este método usa el análisis vectorial para el cálculo de la intersección de dos círculos de alturas iguales de forma directa. Es un método compacto robusto y conceptualmente muy claro, que evita las ambigüedades de la trigonométrica esférica.



Posición a partir de n círculos de altura

Métodos generales:

- Sight reduction with matrices. Watkins. and Janiczek.
- On the Overdetermined Celestial Fix. Metcalf.
- Determining the Position and Motion of a Vessel from Celestial Observations. Kaplan
- Méthode du plan des sommets.

Situación por 2 rectas de altura MSH

La posición (B,L) se puede calcular analíticamente como intersección de dos rectas de altura, tomando la posición estimada (Be,Le) como origen de coordenadas cartesianas.

Sean los determinantes de las dos rectas de altura (p1, Z1) y (p2, Z2). Si ambas son simultaneas:

```
a = SIN(Z1)
b = COS(Z1)
c = SIN(Z2)
d = COS(Z2)
x = (p1*d-p2*b)/(a*d-b*c)
y = (p2*a-p1*c)/(a*d-b*c)
B = Be + y/60
L = Le + x/60/COS(B)
```

En el caso más general las dos rectas de altura se obtendrán para instantes de tiempo diferentes: t1 y t2. Sean R y d, el rumbo y la distancia navegada entre t1 y t2. La primera recta de altura RA1(t1), tiene que ser trasladada al instante de la segunda observación; RA1(t2), ajustando la diferencia de alturas:

d = V (t2-t1)

p1(t2) = p1(t1) + d cos(R-Z1)

Situación por n rectas de altura – LS

Se presenta en este epígrafe una generalización de la situación por rectas de altura MSH. El algoritmo usa el método de los mínimos cuadrados para determinar la posición a partir de tres observaciones.

Si pi y Zi, (i=1,n), son la diferencia de alturas y el azimut para la observación i:

$$A = \sum_{i=1}^{n} \cos^2 Z_i \qquad D = \sum_{i=1}^{n} p_i \cos Z_i$$

$$B = \sum_{i=1}^{n} \cos Z_i \cdot \sin Z_i \qquad E = \sum_{i=1}^{n} p_i \sin Z_i$$

$$C = \sum_{i=1}^{n} \sin^2 Z_i \qquad F = \sum_{i=1}^{n} p_i^2$$

$$G = A\,C - B^2$$

se calculan los coeficientes anteriores, y se obtiene una mejora de la posición estimada:

B = Be + (C * D - B * E) / G

L = Le + (A * E - B * D) / (G * cos Be)

El algoritmo es iterativo, y permite volver a mejorar la posición obtenida hasta que la solución converja, sustituyendo la posición estimada por la anteriormente obtenida.

Be = B

Le = L

El error; la distancia entre la posición estimada y la posición mejorada, en millas náuticas, es:

$$d = 60 * \mathrm{SQRT}[\,(L - Le)^2 * \cos^2 Be + (B - Be)^2\,]$$

Casos especiales

Método de la doble altitud

LatitudeBySimultaneousDoubleAltitudes()

Latitude by double altitudes and elapsed time.worksheet.doc

Latitud por dos alturas cuando la hora tiene un error

Posición por altura y azimut simultáneos del mismo astro

Es teoría es posible situarse por la observación simultanea de la altura y del azimut de un astro. Conceptualmente se trataría de la hallar la intersección del circulo de alturas iguales con el arco de azimut trazado desde el polo de iluminación del astro.

(B, L) = f(H, Z)

La longitud se calcula a partir del ángulo en el polo y del ángulo horario en Greenwich.

t = ASIN(SIN(Z)*COS(Ho)/COS(Dec))

La latitud se obtiene a partir de la siguiente expresión:

B = ASIN((SIN(Ho)*SIN(Dec)-COS(Ho)*COS(Dec)*COS(t)*COS(Z))/(1.0-COS(Ho)*COS(Dec)*SIN(t)*SIN(Z)))

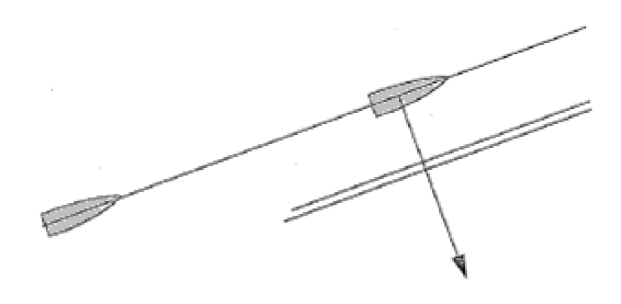
La utilidad práctica de este caso se reduce a aplicaciones astronómicas o militares y no tiene interés en navegación marítima debido a la imposibilidad de medir a bordo, con los medios tradicionales, el azimut de un astro con la precisión requerida.

Utilidad de una recta de altura

Una sola recta de altura, no es suficiente para obtener la situación, pero es muy útil en determinadas ocasiones por la información que proporciona al compararla con la estima.

Error en el rumbo - Recta de dirección

Observando un astro que esté por el través se obtiene una recta de altura llamada recta de dirección, que proporciona el error en el rumbo.

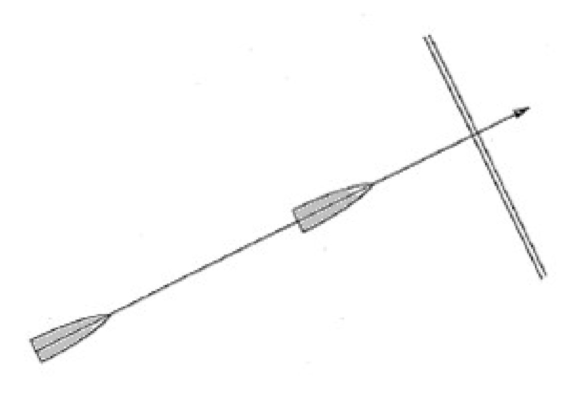


Recta de dirección

Es de utilidad cuando el gobierno del buque se ve afectado por corrientes y/o vientos, o no se conoce la corrección total, de forma que hay una incertidumbre en al rumbo de fondo que sigue el barco.

Error en la distancia navegada - Recta de velocidad

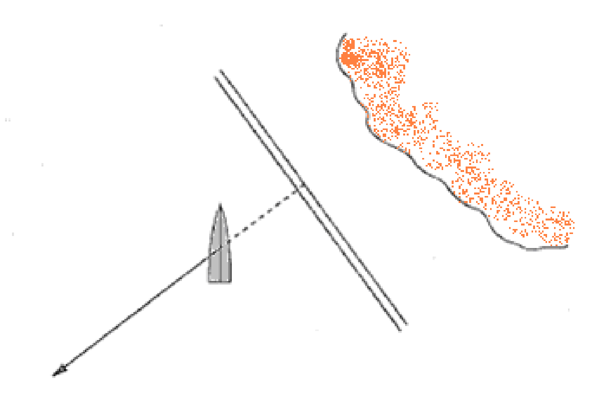
Observando un astro según la dirección de la derrota, ya sea por proa o por popa, se obtiene una recta de altura llamada recta de velocidad, que nos señala el error en distancia respecto a la posición estimada.



Recta de velocidad

Distancia a la costa

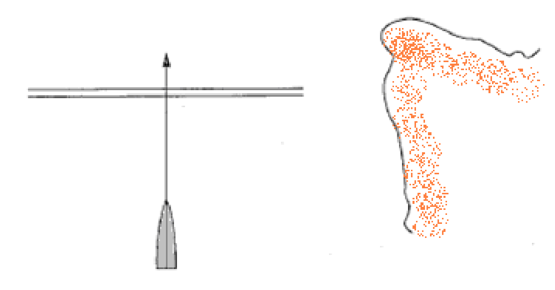
Observando un astro cuyo azimut sea perpendicular a la dirección de la costa, se obtiene una recta de altura paralela a la línea de costa, que proporciona la distancia a ésta.



Distancia a la costa por una recta de altura

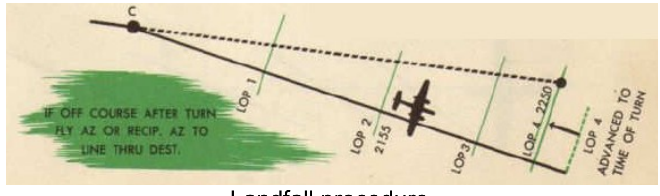
Recta de recalada

Cuando se navega siguiendo la costa, observando un astro que se encuentre en la dirección de esta, se obtiene una recta de altura perpendicular a la costa que nos indica la distancia que falta para cambiar el rumbo.



Recalada y recta de altura

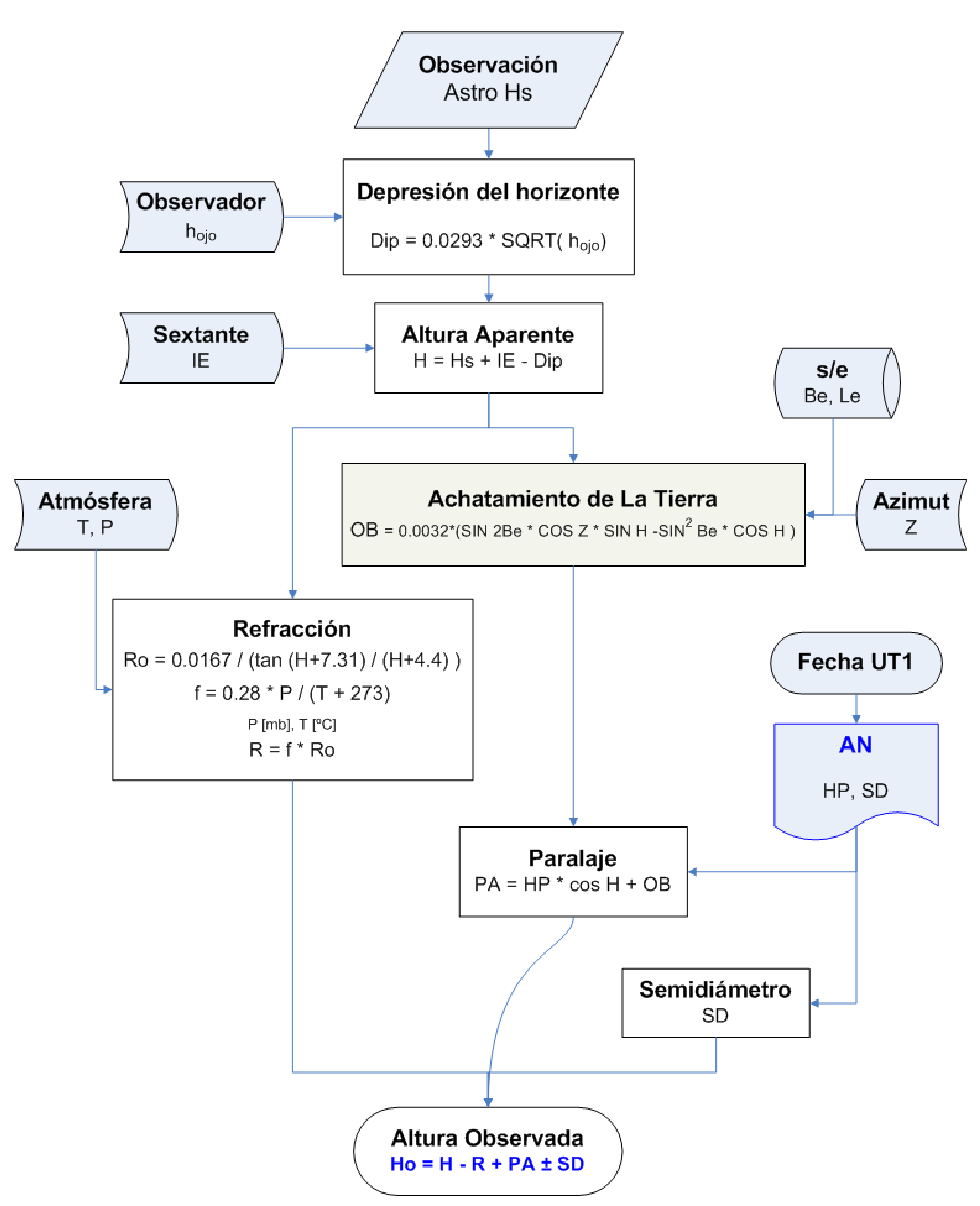
En navegación aérea se empleaba este tipo de recta como recta de aterrizaje.



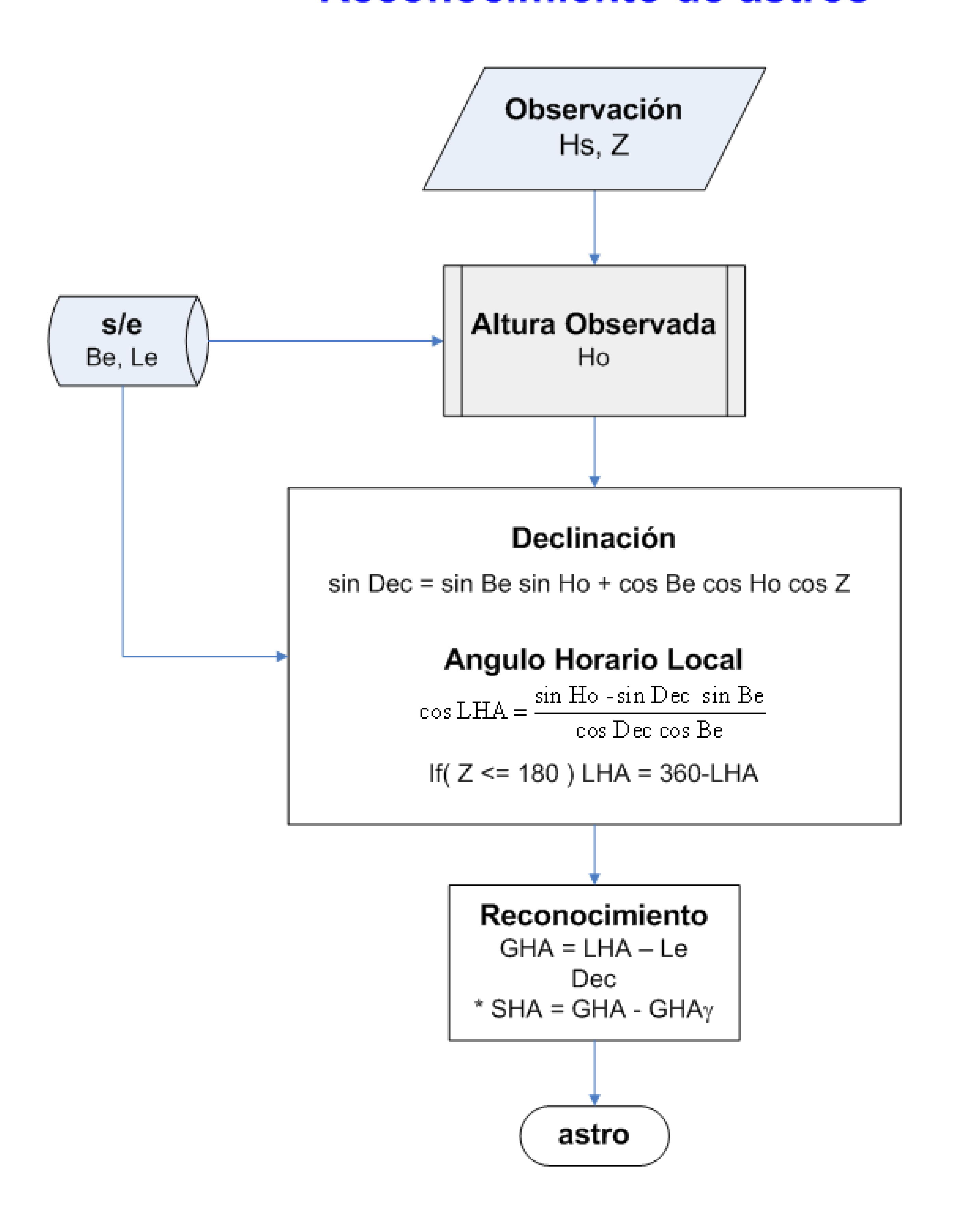
Landfall procedure.
Army Air Forces Collection - 1944 Air navigation

Algoritmos

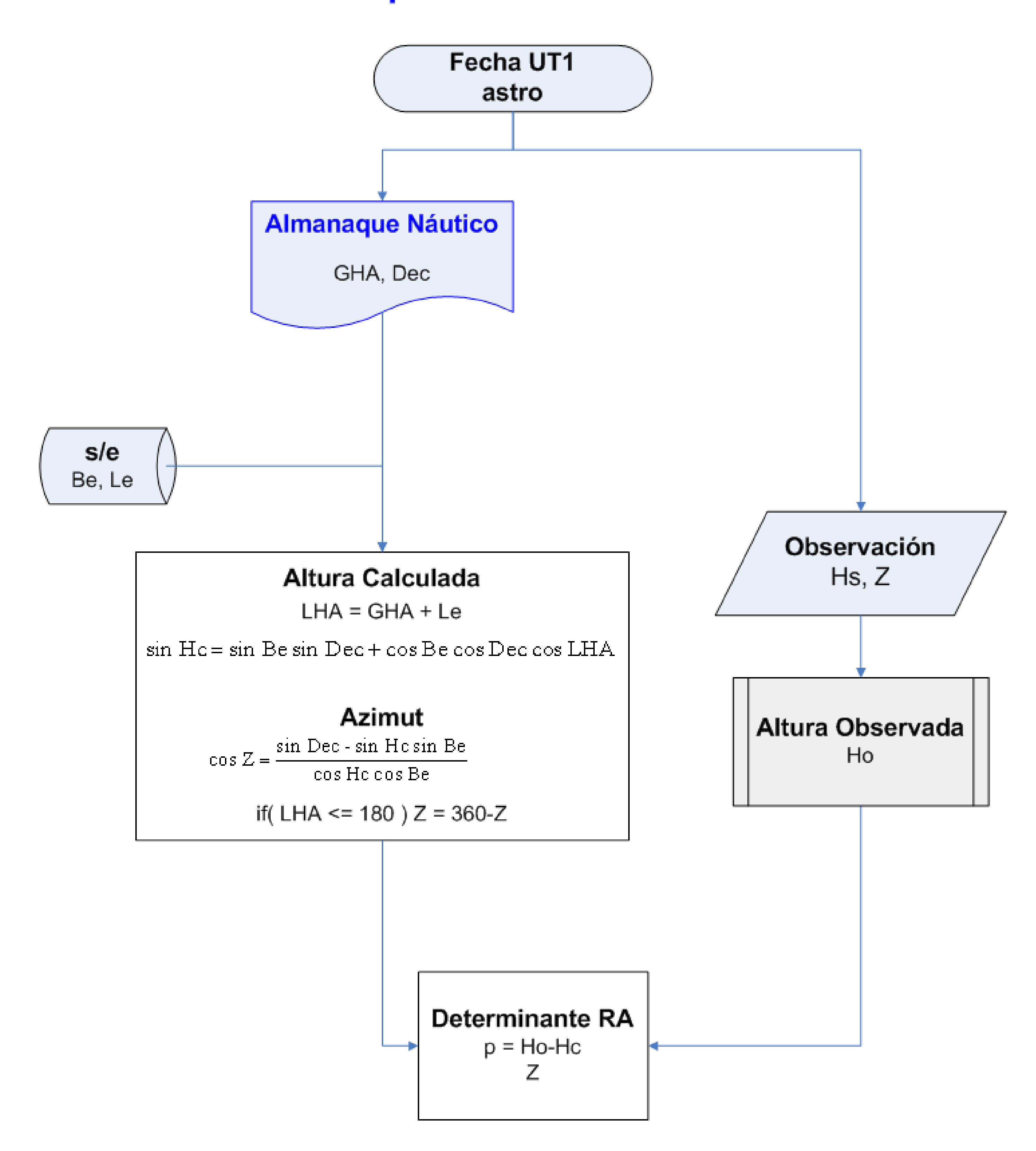
Corrección de la altura observada con el sextante



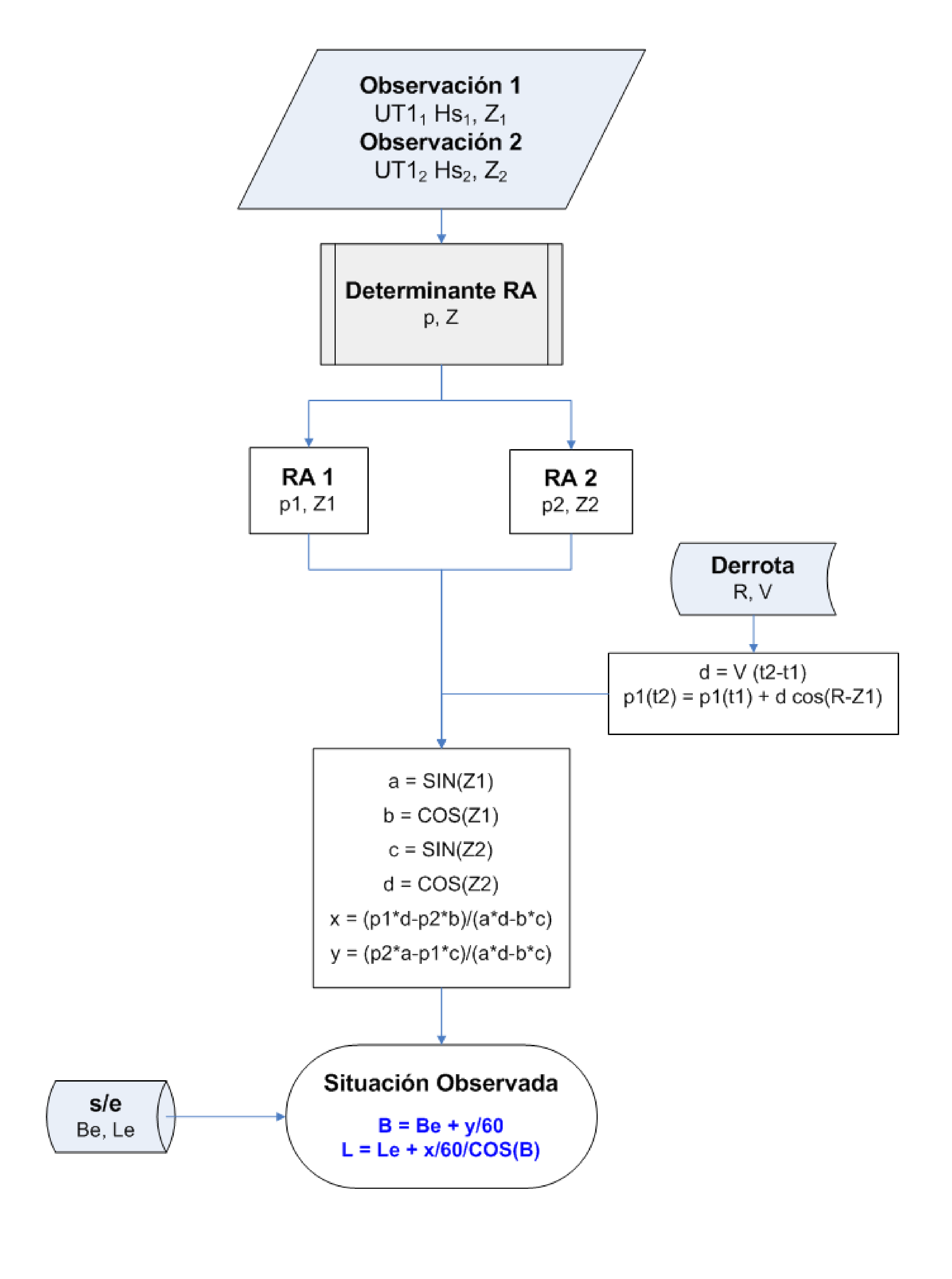
Reconocimiento de astros



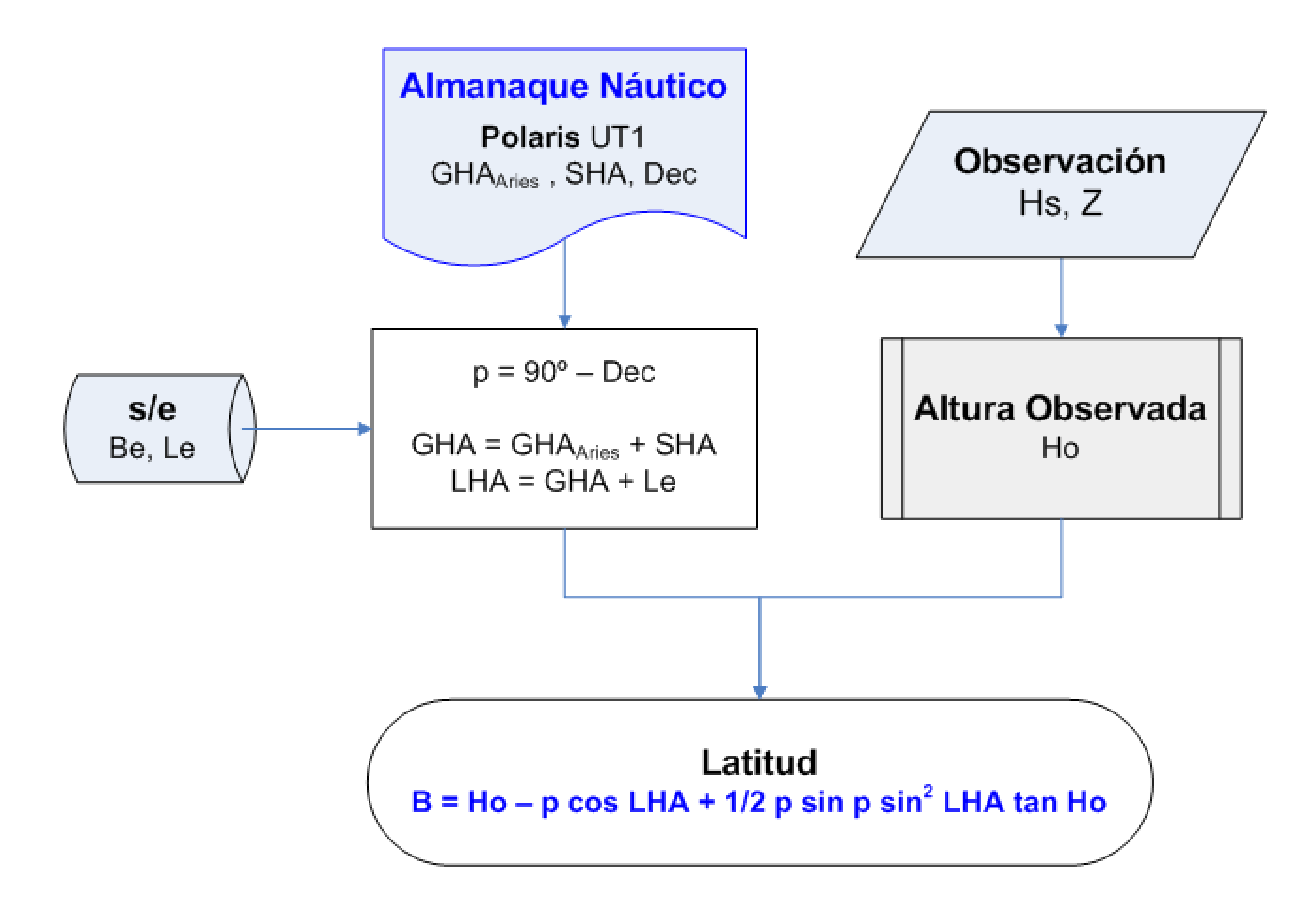
Determinante Marcq Saint-Hilaire de la recta de altura



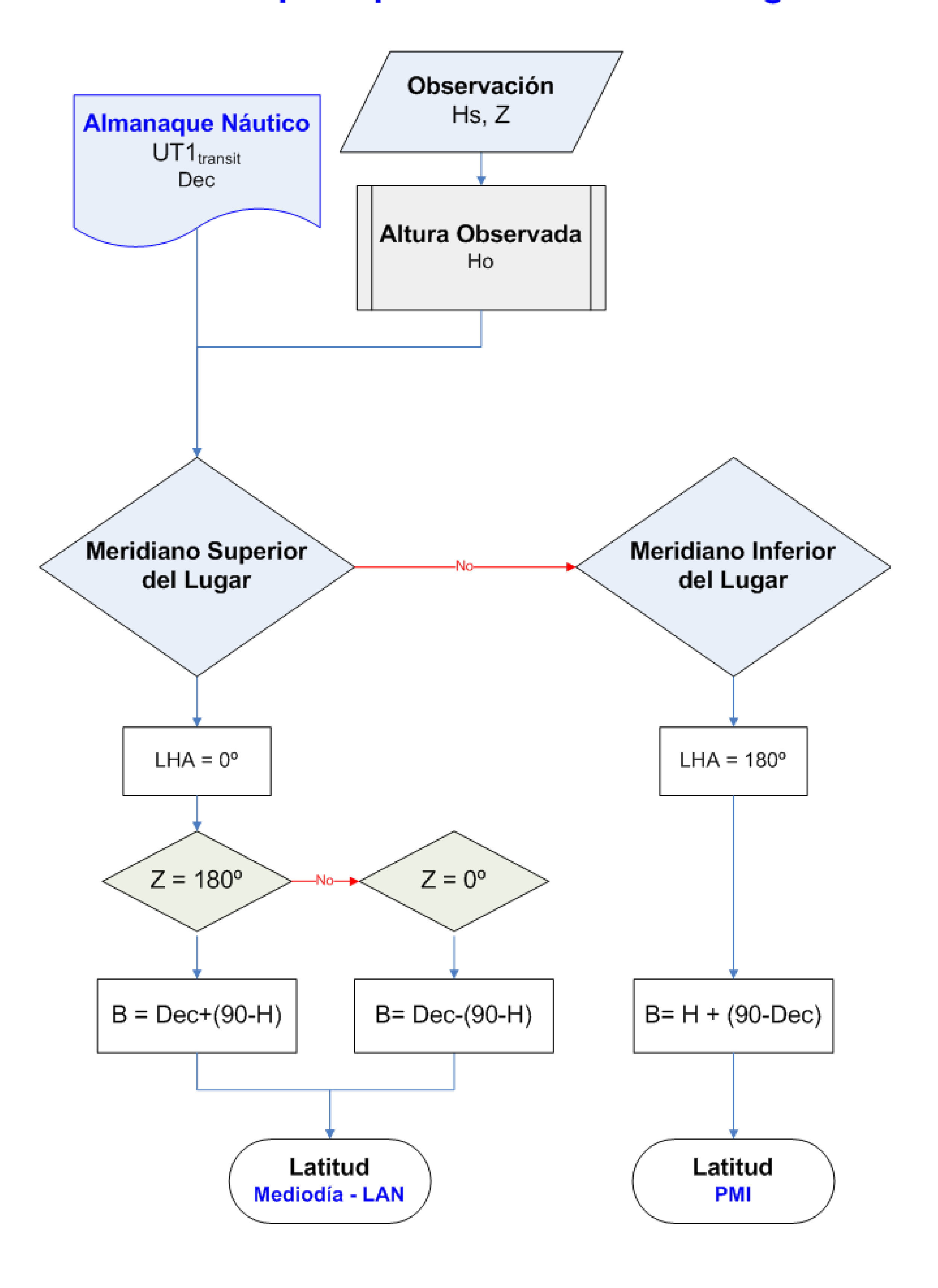
Situación por dos rectas de altura



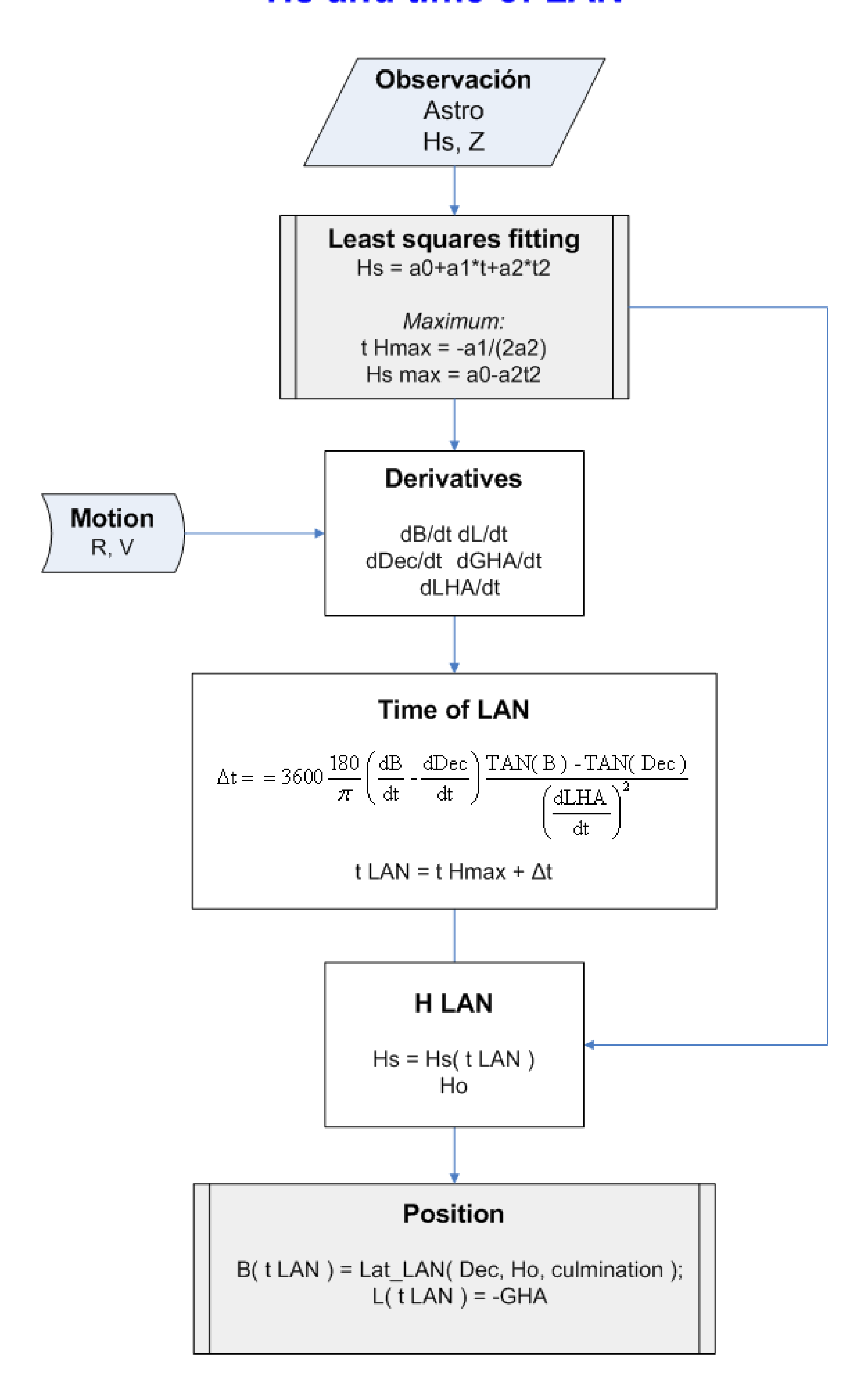
Latitud por la altura de la estrella Polar



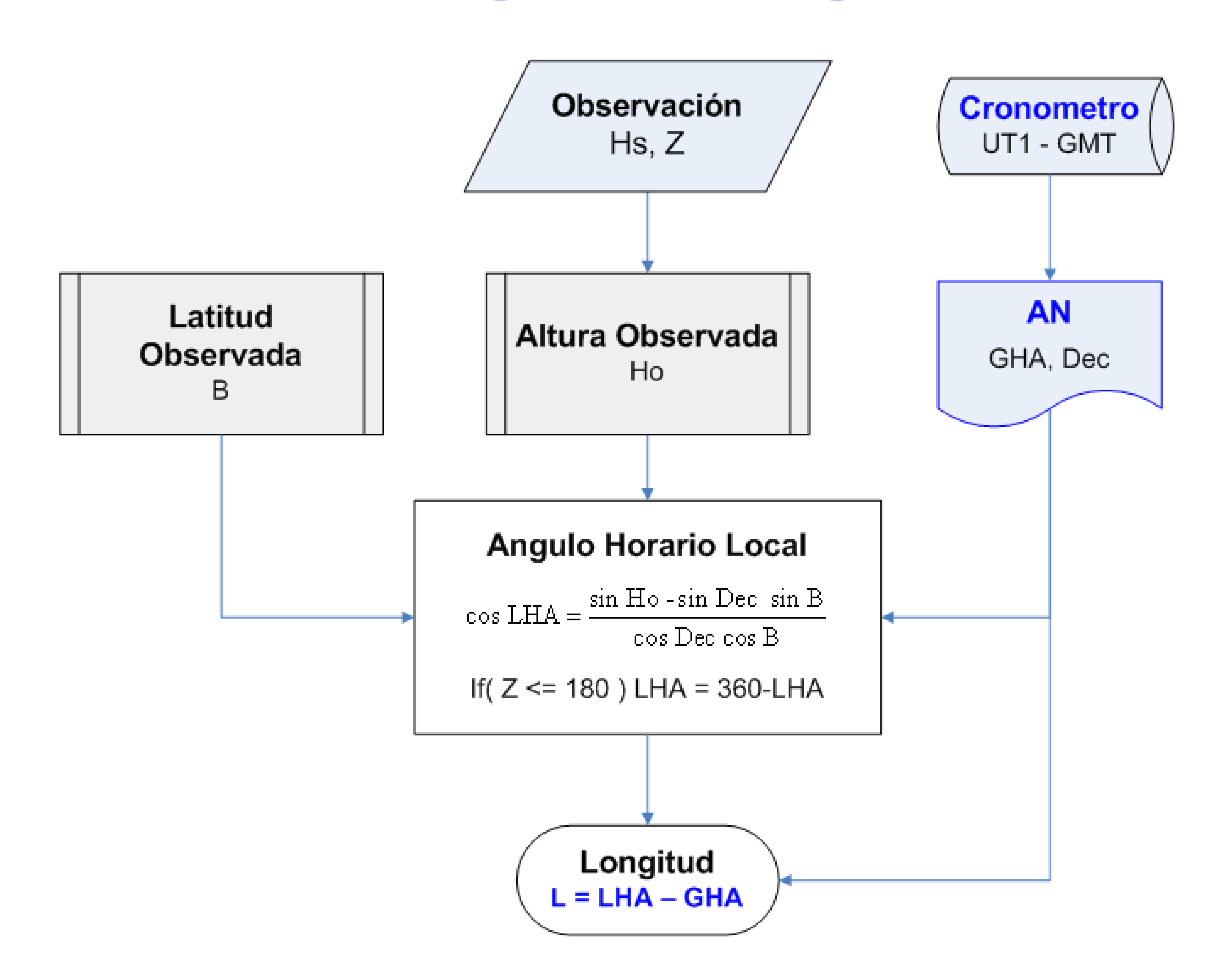
Latitud al paso por el meridiano del lugar



Hs and time of LAN



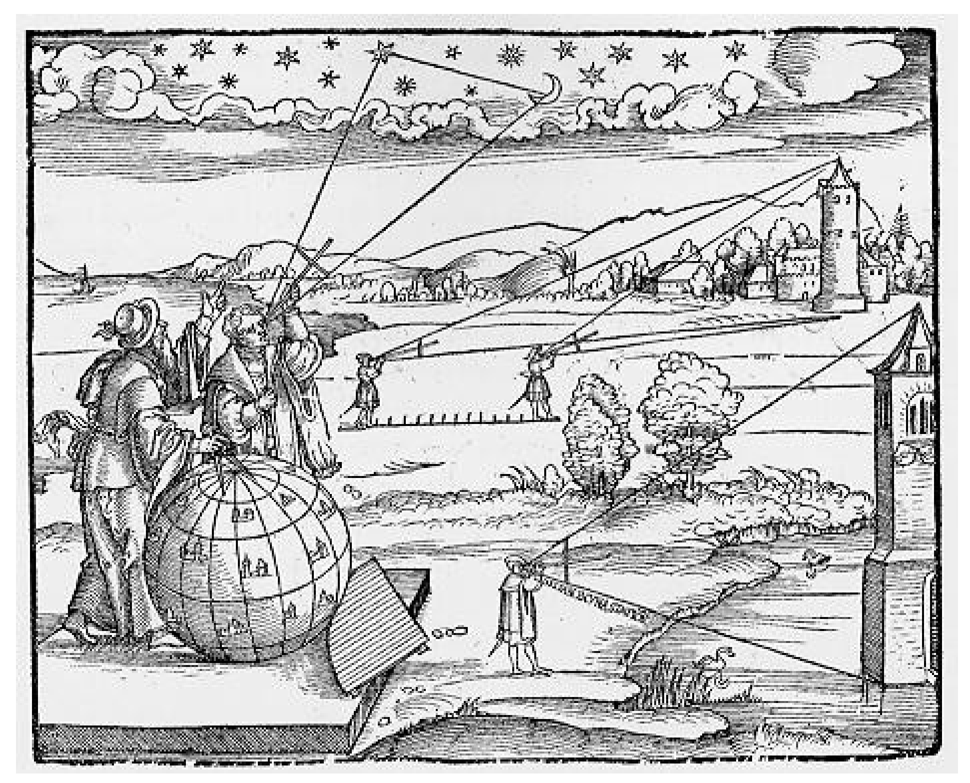
Longitud – Time Sight



El método de la Distancia Lunar



Taking a Lunar Distance - Midnight Sky: Familiar Notes on the Stars and Planets, Edwin Dunkin, 1891.

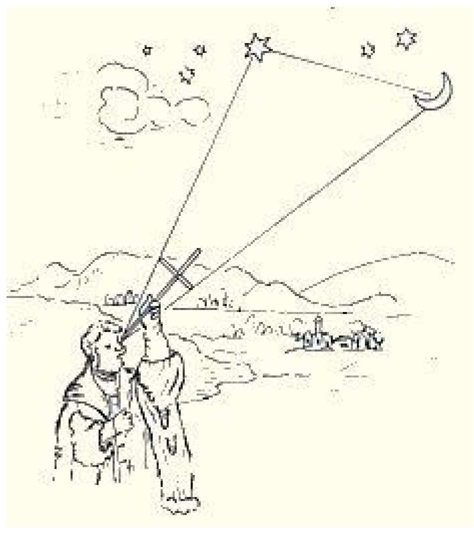


Measuring the angular distance between moon and star. Woodcut by Werner and Apian, 1553.

Breve reseña histórica

Antes de la era del GPS y antes de la invención del cronómetro, el empleo del *método de las Distancias Lunares* permitía poder conocer con precisión la posición. Se convirtió en habitual a finales del siglo XVIII y fue utilizado hasta principios del siglo XX.

La Luna recorre una circunferencia completa respecto al Sol en unos 29.5 días. El ángulo entre el Sol y la Luna actúa como las agujas de un gigantesco reloj astronómico, recorriendo aproximadamente 30.5 segundos de arco en un minuto de tiempo. Si las posiciones del Sol y de la Luna pueden ser predecidas con suficiente antelación, el ángulo entre el Sol y la Luna: la distancia lunar, podría ser tabulada en función de la hora media de Greenwich, GMT.



No es hasta la segunda mitad del siglo XVIII cuando se dan las circunstancias adecuadas para la utilización práctica del método de las distancias lunares: los avances en trigonometría esférica permitieron formular el problema, los desarrollos en astronomía facilitaron el cálculo de las coordenadas del Sol y de la Luna con la precisión necesaria para la determinación de la longitud, que con este método no se precisa del cronómetro, también el instrumento necesario para medir con precisión el ángulo entre la Luna y otro astro fue perfeccionado, apareciendo el sextante.

Este método no se hizo práctico hasta que Nevil Maskelyne, astrónomo real del observatorio de Greenwich, publicó en el año de 1766 el primer almanaque náutico: "the Nautical Almanac for 1767". Maskelyne y su equipo trabajaron febrilmente para publicar el almanaque náutico, incluyendo tablas diarias de las posiciones del Sol, la Luna y los planetas usados en navegación, y otros datos astronómicos, así como las tablas de las distancias lunares, que proporcionaban la distancia de la Luna al Sol, y a nueve/diez estrellas adecuadas para observaciones lunares. Desde entonces hasta hoy en día esta publicación ha sido y es la herramienta básica del navegante que utiliza la navegación astronómica.

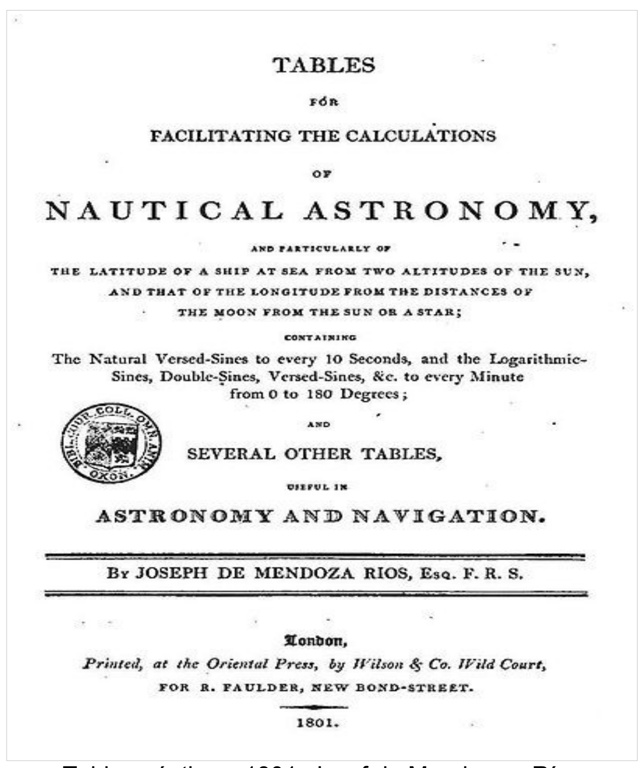
[36] MARCH 1767.

Days	Distances of ☽'s Center from ☉, and from Stars west of her.				
	Stars Names.	12 Hours. ° ′ ″	15 Hours. ° ′ ″	18 Hours. ° ′ ″	21 Hours. ° ′ ″
3	The Sun.	47. 35. 32	49. 14. 7	50. 52. 15	52. 29. 58
4		60. 31. 52	62. 6. 53	63. 41. 28	65. 15. 37
5		72. 59. 57	74. 31. 33	76. 2. 45	77. 33. 33
6		85. 1. 42	86. 30. 12	87. 58. 22	89. 26. 11
7		96. 40. 30	98. 6. 26	99. 32. 5	100. 57. 27
8		108. 0. 35	109. 24. 27	110. 48. 7	112. 11. 34
9		119. 6. 21			
6	Arietis.	36. 56. 52	38. 32. 5	40. 7. 2	41. 41. 42
7		49. 30. 50	51. 3. 51	52. 36. 36	54. 9. 5
8	Aldebaran.	30. 50. 33	32. 16. 45	33. 43. 9	35. 9. 45
9		42. 24. 35	43. 51. 40	45. 18. 45	46. 45. 51
10		54. 1. 29	55. 28. 35	56. 55. 42	58. 22. 48
11		65. 38. 23	67. 5. 29	68. 32. 35	69. 59. 42
12	Pollux.	34. 42. 35	36. 10. 18	37. 38. 5	39. 5. 57
13		46. 26. 22	47. 54. 39	49. 23. 0	50. 51. 26
14	Regulus.	21. 13. 28	22. 42. 27	24. 11. 34	25. 40. 48
15		33. 8. 32	34. 38. 25	36. 8. 24	37. 38. 30
16		45. 10. 46	46. 41. 36	48. 12. 32	49. 43. 36
17		57. 20. 54	58. 52. 45	60. 24. 45	61. 56. 54
18	Spica.	15. 48. 39	17. 20. 33	18. 52. 46	20. 25. 17
19		28. 12. 30	29. 46. 44	31. 21. 15	32. 65. 1
20		40. 53. 41	42. 30. 0	44. 6. 34	45. 43. 27
21		53. 51. 55	55. 30. 27	57. 9. 17	58. 48. 25
22		67. 8. 48	68. 49. 50	70. 31. 11	72. 12. 52
23	Antares.	34. 55. 40	36. 39. 31	38. 23. 42	40. 8. 14
24		48. 56. 5	50. 42. 38	52. 29. 31	54. 16. 45
25		63. 17. 49	65. 6. 58	66. 56. 24	68. 46. 7
26	Capricorni.	23. 43. 43	25. 32. 9	27. 21. 11	29. 10. 44
27	Aquilae.	46. 57. 42	48. 20. 33	49. 44. 53	51. 10. 35
28		58. 36. 8	60. 7. 55	61, 40. 21	63. 13. 19

Primera tabulación sistemática de las distancias lunares, publicada por Nevil Maskelyne.

Hacia 1759 el relojero John Harrison desarrolló un cronómetro preciso, y varios años después lo hizo el francés Berthoud, con lo que la longitud podía ser determinada

de manera más simple que por distancias lunares. Pero debido al elevado precio de los cronómetros en aquel entonces, no se popularizó su uso, y siguió utilizándose el método de las distancias lunares como alternativa, y como forma de chequear el funcionamiento de los cronómetros de a bordo, o de calibrarlos, si los hubiere.



TABLES
FOR
FACILITATING THE CALCULATIONS
OF
NAUTICAL ASTRONOMY,
AND PARTICULARLY OF
THE LATITUDE OF A SHIP AT SEA FROM TWO ALTITUDES OF THE SUN,
AND THAT OF THE LONGITUDE FROM THE DISTANCES OF
THE MOON FROM THE SUN OR A STAR;
CONTAINING
The Natural Versed-Sines to every 10 Seconds, and the Logarithmic-Sines, Double-Sines, Versed-Sines, &c. to every Minute from 0 to 180 Degrees;
AND
SEVERAL OTHER TABLES,
USEFUL IN
ASTRONOMY AND NAVIGATION.

By JOSEPH DE MENDOZA RIOS, Esq. F. R. S.

London,
Printed, at the Oriental Press, by Wilson & Co. Wild Court,
FOR R. FAULDER, NEW BOND-STREET.
1801.

Tablas náuticas, 1801, Josef de Mendoza y Ríos

Hoy en día este método se practica por hobby, por interés histórico o para desarrollar destreza en el uso del sextante.

Fundamento

En navegación astronómica el cálculo de la posición requiere el conocimiento preciso de la hora de la observación, siendo crítico el error en la medida del tiempo para el cálculo de la longitud.

El método de la distancia lunar utiliza un reloj astronómico basado en el movimiento de la Luna en relación a otro astro cercano a la eclíptica, como son los planetas, el Sol y estrellas como: Aldebaran, Altair, Antares, Fomalhaut, Hamal, Markab, Pollux, Regulus y Spica.

Nombre antiguo	*Nombre actual*	*Constelación*
Aldebaran	Aldebaran	Taurus
α Aquilae	Altair	Aquila
Antares	Antares	Scorpius
Fomalhaut	Fomalhaut	Piscis Austrinus
α Arietis	Hamal	Aries
α Pegasi	Markab	Pegasus
Pollux	Pollux	Gemini
Regulus	Regulus	Leo
Spica Virginis	Spica	Virgo

El método esta basado en el hecho de que la distancia entre la Luna y otro astro cambia a lo largo del tiempo, pero en un instante determinado esa distancia es la misma independientemente del lugar de la superficie de la Tierra desde donde es observada.

La distancia lunar observada debe ser corregida de los errores de refracción y paralaje. Una vez determinada la distancia lunar verdadera, es posible hallar el tiempo UT1 por interpolación en las tablas de distancias lunares. Obtenida la hora UT1 de la observación, es posible determinar las coordenadas de los dos astros, Dec y GHA, en ese instante. Y conocida la latitud, *por la Polar o por meridiana*, es posible calcular la longitud a través del LHA.

Efemérides ⇨ LD geocéntrica

LD observada

Correcciones

Obtención del tiempo: LD ⇨ UT1

UT1 ⇨ Dec, GHA

LAN, Polar ⇨ B

LHA ⇨ L

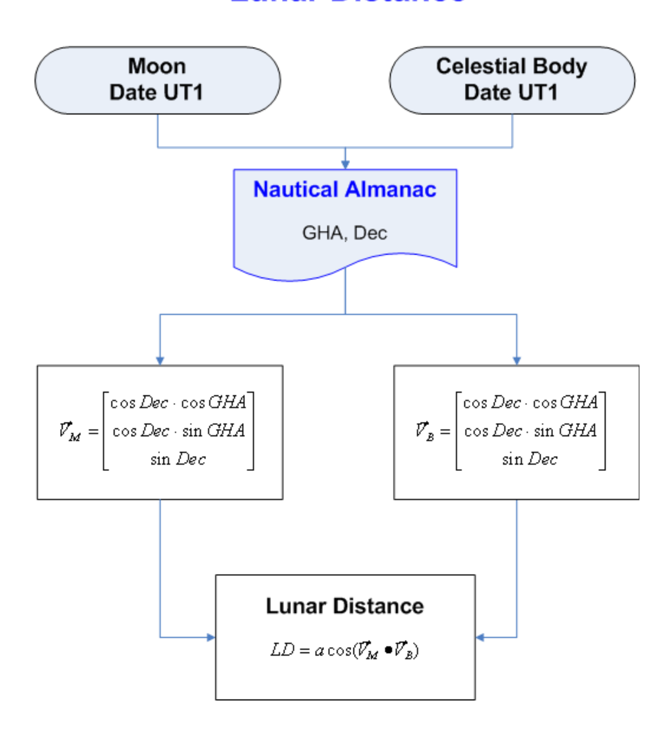
Distancia lunar calculada

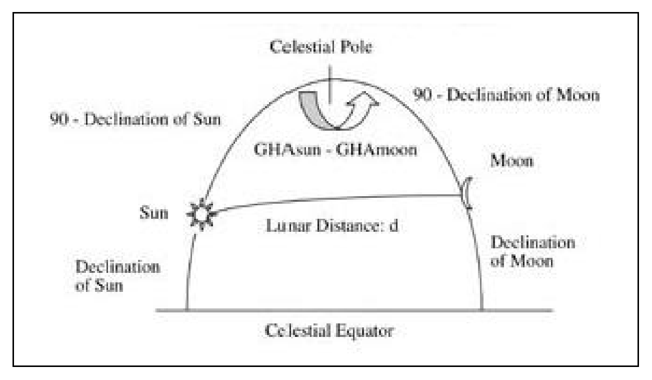
Usando las coordenadas ecuatoriales geocéntricas de los dos astros, y transformándolas en cartesianas, tenemos que:

$$\{V\} = \begin{bmatrix} \cos Dec \cdot \cos GHA \\ \cos Dec \cdot \sin GHA \\ \sin Dec \end{bmatrix}$$

Y la distancia lunar entre la Luna y el otro astro viene dada por el producto escalar de los vectores de posición de ambos astros:

$$\vec{V}_M \bullet \vec{V}_B = \cos(LD)$$





Distancia lunar geocéntrica.

Al mismo resultado se llega resolviendo para el lado incógnita el triángulo esférico, en donde son conocidos dos lados y el ángulo formado por ellos.

$$\cos LD = \sin Dec_M \cdot \sin Dec_2 + \cos Dec_M \cdot \cos Dec_2 \cdot \cos(GHA_M - GHA_2)$$

La declinación y el ángulo horario en Greenwich de la luna y del segundo astro se obtienen del almanaque náutico.

Las tablas de distancias lunares publicadas en los almanaques náuticos hasta principios del siglo XX, recogían cada tres horas el resultado de esta ecuación para unos astros escogidos.

Distancia lunar observada

Observaciones - Shooting the Lunar and the Altitudes

En la práctica, el método de las distancias lunares involucra tomar tres observaciones, idealmente simultáneas, con el sextante:

- Altura de la Luna sobre el horizonte.
- Altura del astro sobre el horizonte.
- Distancia angular entre la Luna y el astro.

Las alturas tomadas con el sextante deben ser corregidas para obtener las alturas observadas o verdaderas, e igualmente la distancia lunar, siendo las correcciones a aplicar distintas, de hecho las alturas son necesarias para corregir la distancia lunar.

La medición de la distancia lunar se efectúa tomando el limbo mejor definido de la Luna.

Corrección de las alturas

Se procede de forma habitual, aplicando todas las correcciones a la Luna.

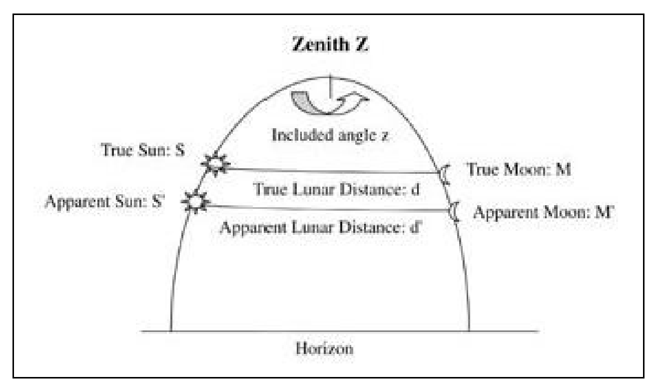
$$Dp = 1.7757\sqrt{h_{ojo}}$$

$$SD_{AG}Moon = 0.272481 \cdot PHE \cdot (1 + \sin(H_a)/55)$$

$$PA_{Moon} = (1 - \sin^2 l/300) \cdot PHE \cdot \cos(H_a)$$

$$PA = HP \cdot \cos H_a$$

Corrección de la distancia - Clearing the Distance



Distancia lunar verdadera y aparente.

Para corregir la distancia lunar aparente de refracción y paralaje, se resuelve el triángulo esférico de la figura.

Sean:

- h'= 90 – ZM': Altura aparente del centro de la Luna corregida por depresión del horizonte.
- H' = 90 – ZS': Altura aparente del centro del otro astro corregida por depresión del horizonte.
- d' = Distancia aparente entre los centros de la Luna y del astro.
- d = Distancia observada o verdadera entre los centros de la Luna y del astro.

Corrigiendo las alturas de refracción y paralaje se obtienen las alturas verdaderas:

- h = 90 – ZM. Altura verdadera de la Luna.
- H = 90 – ZS. Altura verdadera del otro astro.

El lado SM del triángulo esférico es la distancia lunar verdadera d. La llave para su cálculo es el hecho de que el ángulo z es común a los triángulos esféricos ZS'M' y ZSM; la refracción y la paralaje afectan solamente a la altura y no alteran el ángulo comprendido z.

Aplicando la ley de los cosenos a los dos triángulos esféricos:

- de ZS'M' se obtiene cos z. El resto de los términos son conocidos a partir de las observaciones con el sextante corregidas por depresión del horizonte y efectos aparentes del centro del astro.

$$\cos d' = \sin h' \sin H' + \cos h' \cos H' \cos z$$

- de ZSM se halla d. Todos los demás términos son conocidos: H y h se obtienen de las alturas medidas con el sextante corregidas de refracción y paralaje.

$$\cos d = \sin h \sin H + \cos h \cos H \cos z$$

Fórmula de Young

Combina las dos ecuaciones anteriores de forma compacta.

$$\cos D = [\cos d + \cos(m+s)] \cdot \frac{\cos M \cdot \cos S}{\cos m \cdot \cos s} - \cos(M+S)$$

Donde M y S son las alturas verdaderas de la la Luna y el astro, y m y s las geocéntricas aparentes. Siendo d la distancia lunar aparente entre centros.

En los siglos pasados debido a que los cálculos se debían hacer a mano en base a tablas se elaboraron gran número de procedimientos, tanto exactos como aproximados, encaminados a facilitar la obtención de la solución.

Hora UT1 por distancia lunar

La hora UT1 se obtiene por interpolación:

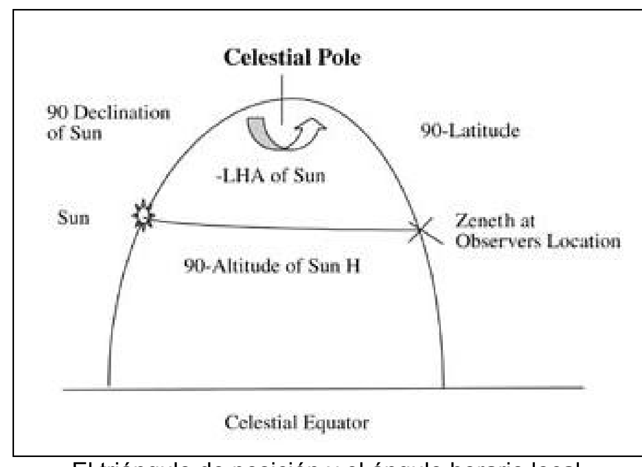
$$LD = f(UT1) \Rightarrow UT1 = f^{-1}(LD)$$

Una vez calculada la distancia lunar verdadera, se interpola en las tablas de distancias lunares LD/UT1 para encontrar la hora UT1.

Longitud

Una vez conocida la hora UT1, pueden ser halladas en el almanaque náutico la declinación, Dec, y el ángulo horario en Greenwich, GHA en el instante de la observación. Lo que permite hallar la posición por cualquiera de los métodos expuestos anteriormente.

En la época de auge de este método, se calculaba la latitud y la longitud de forma separada, y lo más común era hallar primero la latitud por dos alturas simultaneas, para luego hallar la longitud por medio de un “time sight”.



El triángulo de posición y el ángulo horario local.

(B, H, Dec) ⇨ LHA **Time Sight**

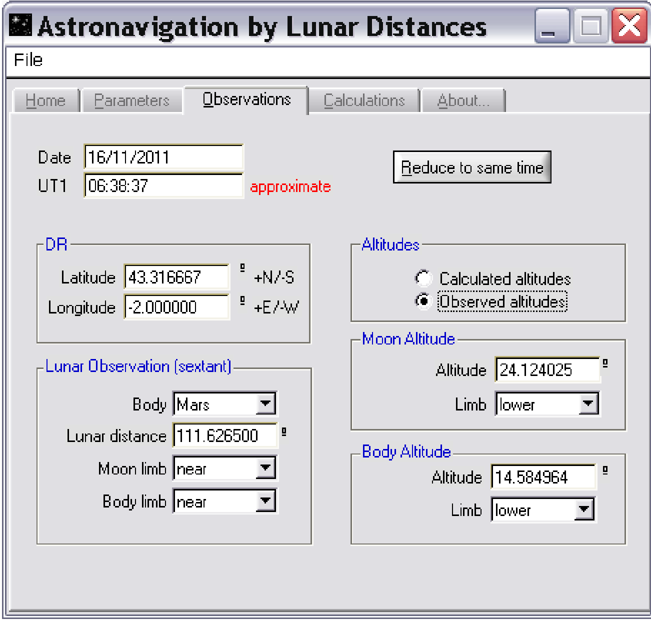
$$\cos LHA = (\sin H - \sin Dec \sin B)/(\cos Dec \cos B)$$

La altitud, H, es la medida con el sextante afectada de las correcciones procedentes.

Una vez hallado el LHA, la longitud se obtiene de la relación:

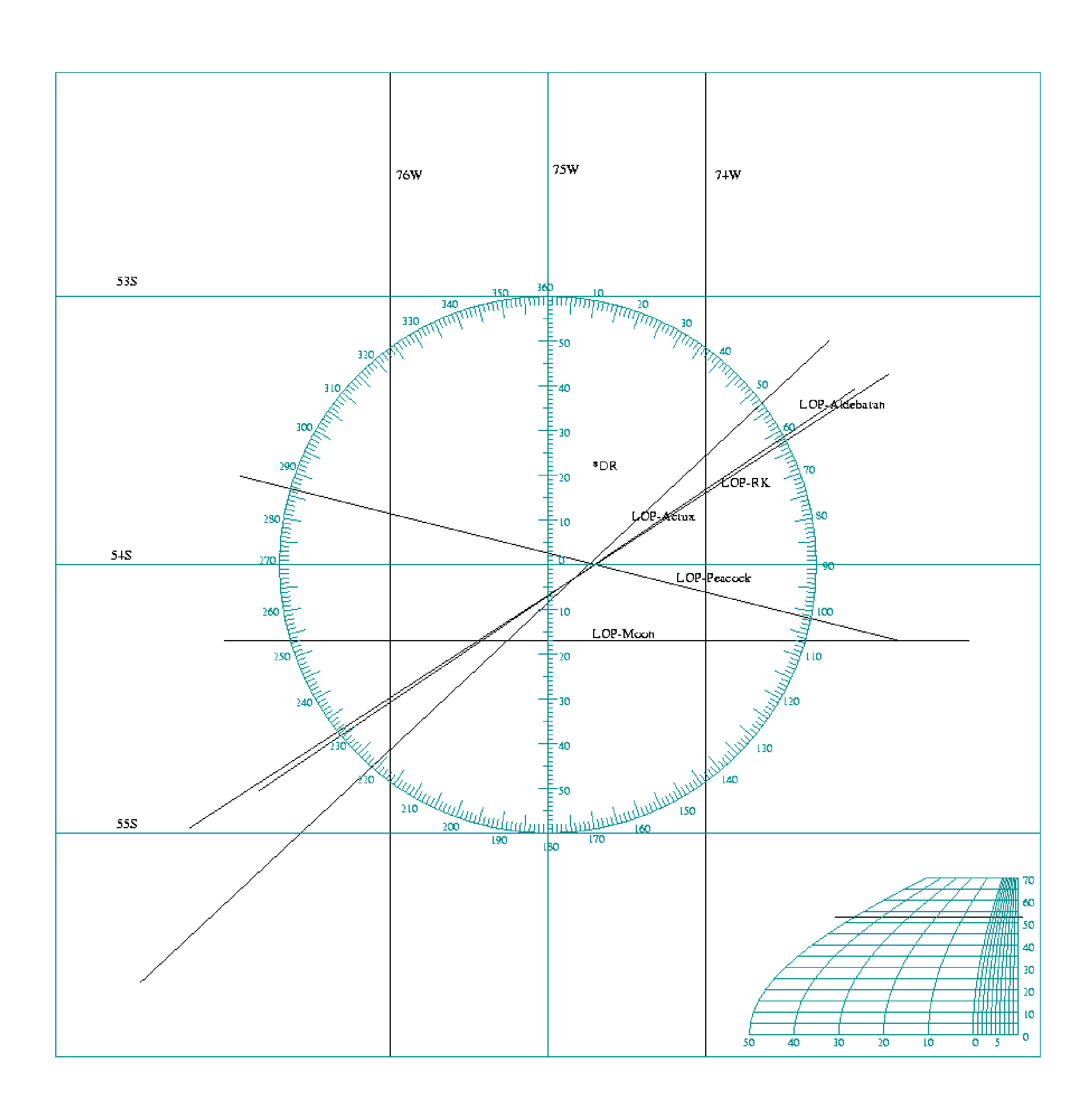
L = GHA – LHA

Estos cálculos se pueden referir a la Luna o al otro astro observado. De hecho se pueden realizar para los dos astros y chequear los resultados.



Software para resolver el problema de las distancias lunares.

Navegación Astronómica con Calculadora



Navegación Astronómica con calculadora

Posición estimada	B =	L =	UT1 =	Fecha:
Derrota	R =	V =		

Observación UT1				
Astro:				

Altura Observada Ho

Altura del sextante: **Hs**				
Error instrumental: EI				
Depresión del Horizonte Altura del ojo sobre el nivel del mar: h [m]				
D = 0.0293 √h [º]				
Altura Aparente **H** = Hs + EI - D				
Refracción if(H > 15º) R0 = 0.0162 / TAN(H)				
P [mb]				
T [ºC]				
f = 0.28 P/ (T+ 273)				
R = f R0				
Paralaje – *Sol, Luna, Venus, Marte*				
HP *(Sol HP = 0.0024º)*				
Luna OB = 0.0032(sin 2B cos z sin H - $\sin^2$B cos H)				
PA = HP COS H + OB				
Semidiámetro • *El Sol SD ≈ 16'* • *La Luna SD ≈ 0.2724° HP*				
Ho = H - R + PA ± SD				

Reconocimiento del astro

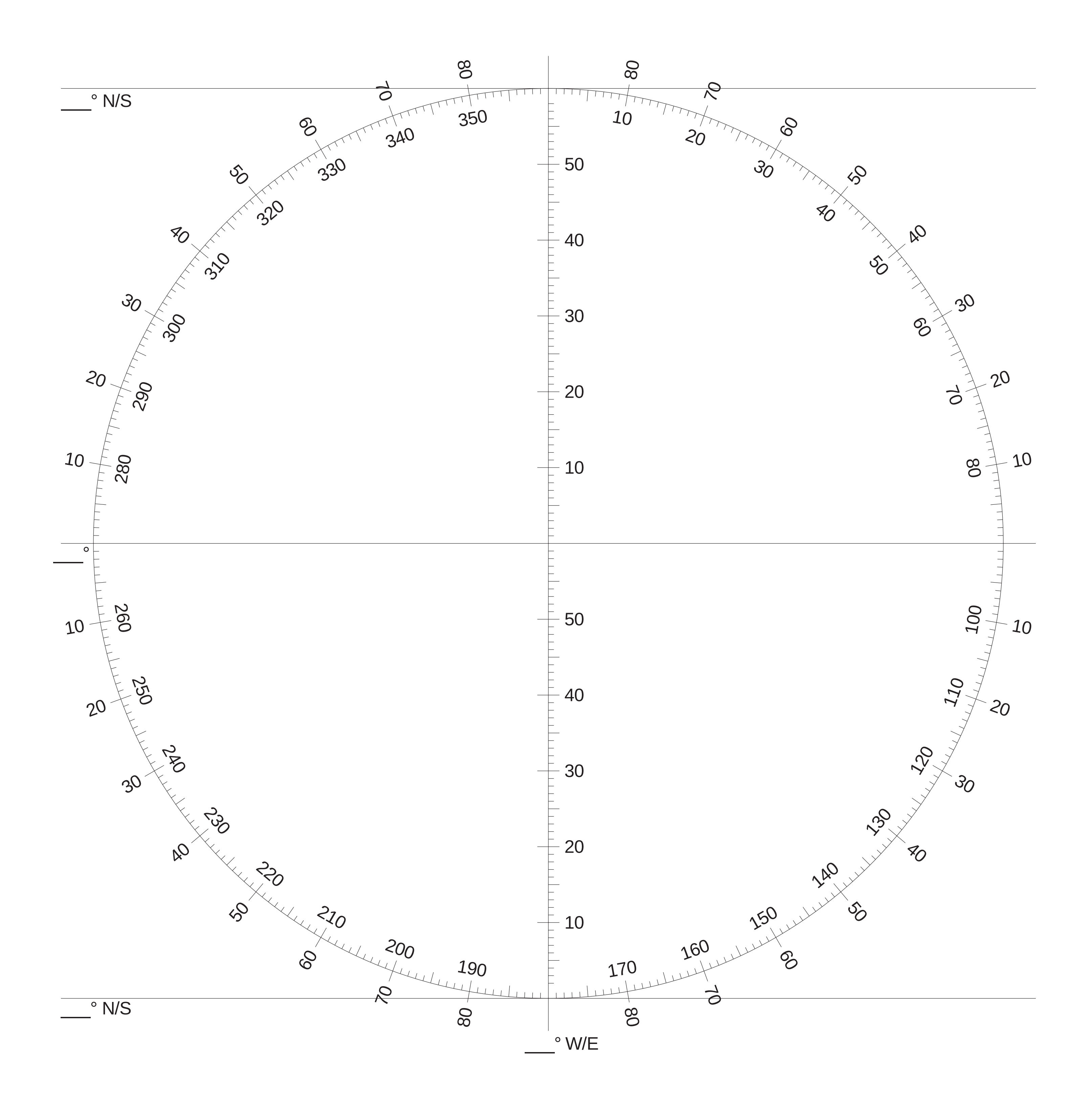
Z				
Dec = ASIN[Sin B Sin Ho + Cos B Cos Ho Cos Z]				
LHA = ATAN[(Tan Ho Cos B - Sin B Cos Z)/ Sin Z]				
GHA = LHA – L				

Polo de iluminación del astro

Dec				
☆ GHA_{Aries}				
☆ SHA				
GHA☆ = GHA_{Aries} + SHA GHA				

Recta de altura – Determinante

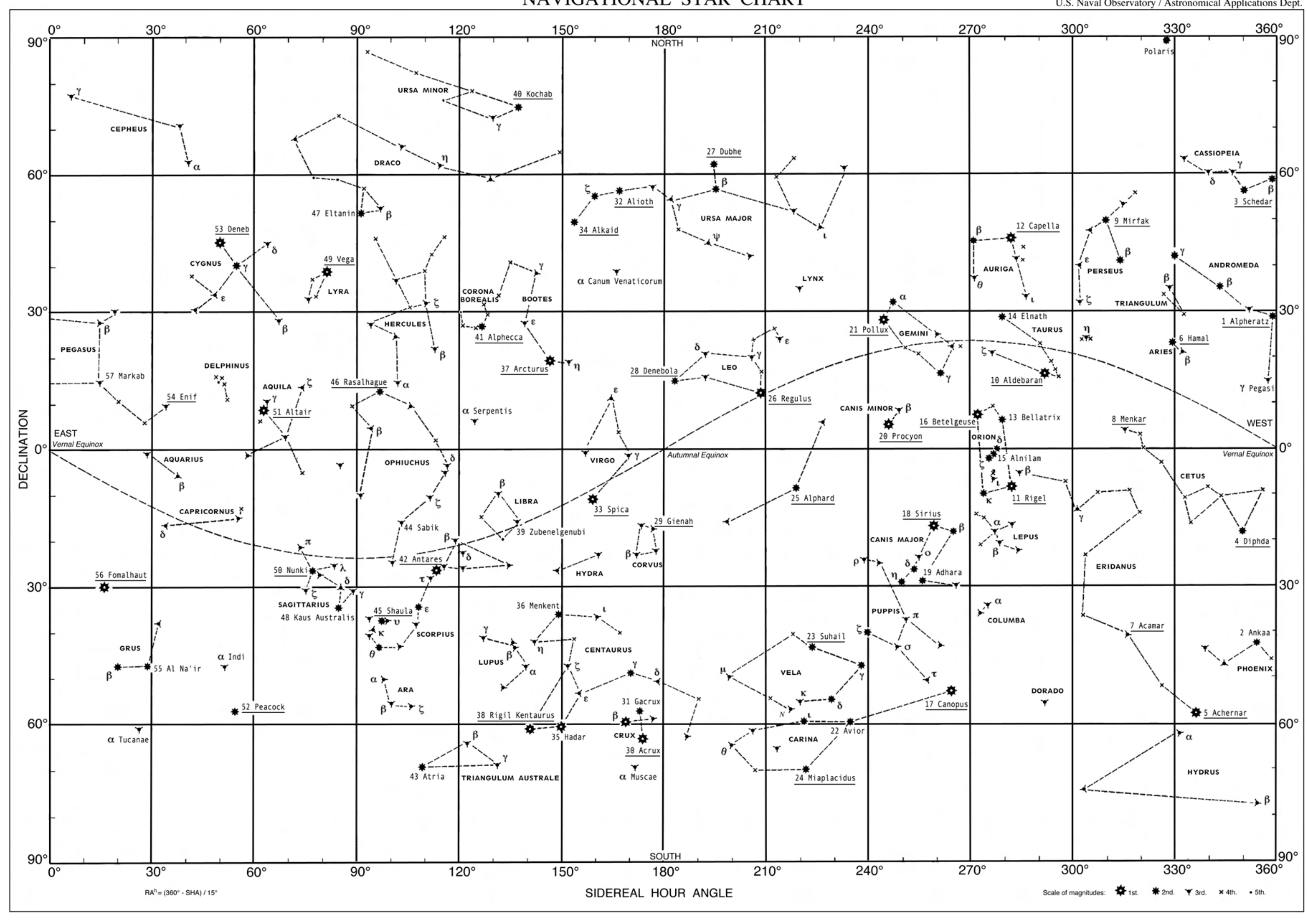
LHA = GHA+L				
Hc = ASIN[sin B sin Dec + cos B cos Dec cos LHA]				
Z = ACOS[(sin Dec - sin Hc sin B)/(cos Hc cos B)]				
if(LHA = W) Z=360-Z				
p = Ho - Hc				



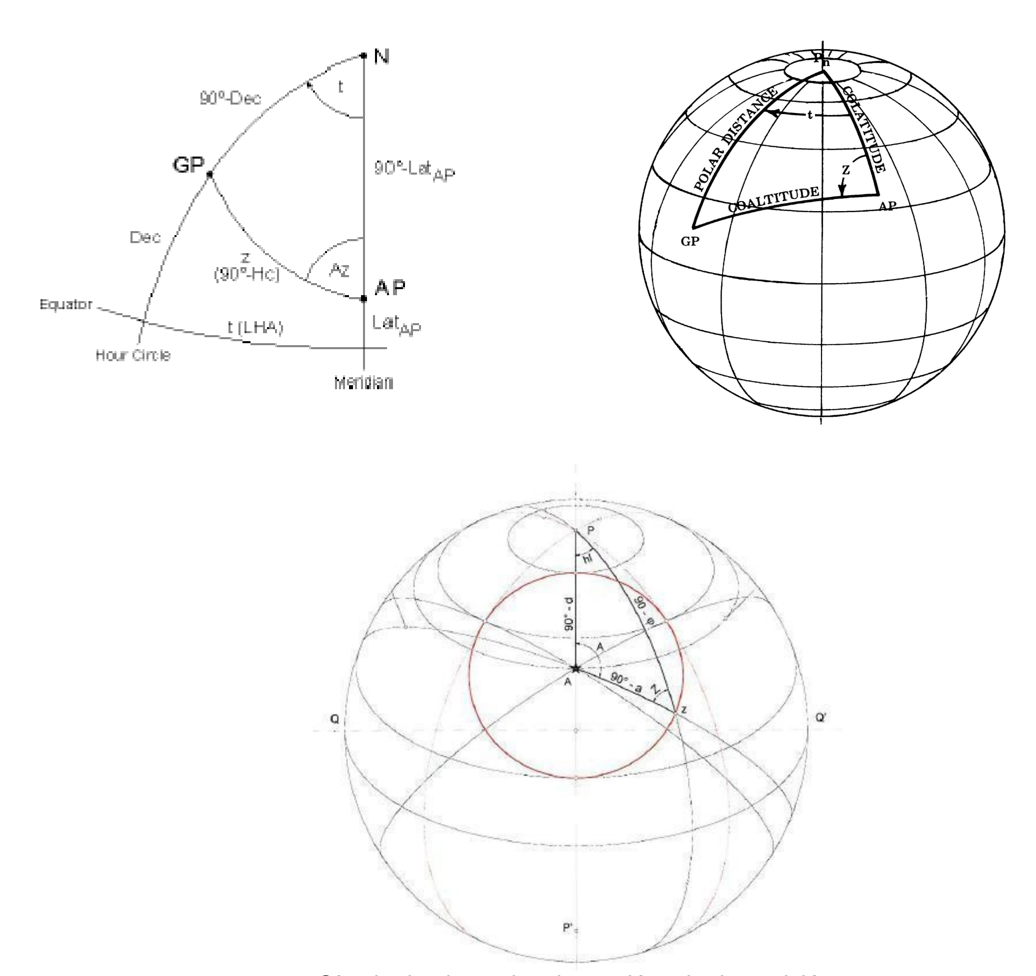
Universal Plotting Sheet for printing on 8.5” x 11” paper
Mark the middle lines of latitude and longitude as a whole degrees near your DR position.
Establish additional lines of longitude by connecting the longitude scale marks on the **outer** ring.
Use the minutes of latitude scale along the mid longitude to measure nautical miles.

NAVIGATIONAL STAR CHART

U.S. Naval Observatory / Astronomical Applications Dept.



Triángulo de posición



Círculo de alturas iguales y triángulo de posición.

(B, LHA, Dec) ⇨ H sin H = sin B sin Dec + cos B cos Dec cos LHA

(LHA, H, Dec) ⇨ Z sin Z = (cos Dec sin LHA)/cos H

(B, LHA, Dec) ⇨ Z cotan Z = (tan Dec cos B - sin B cos LHA)/ sin LHA

(B, H, Dec) ⇨ Z cos Z = (sin Dec - sin H sin B)/(cos H cos B)

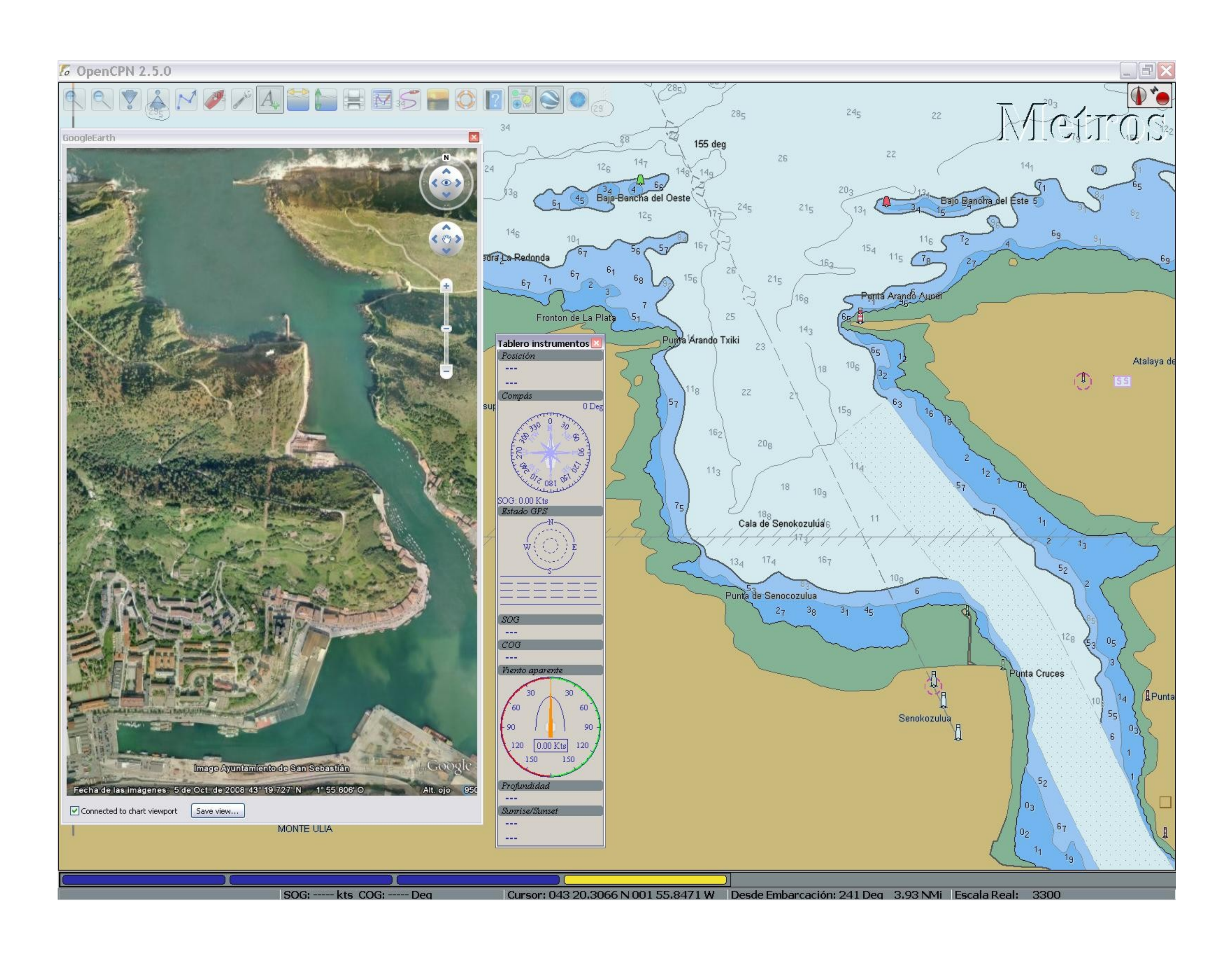
(B, H, Z) ⇨ LHA cotan LHA = (tan H cos B - sin B cos Z)/ sin Z

(B, H, Z) ⇨ Dec sin Dec = sin B sin H + cos B cos H cos Z

(B, H, Dec) ⇨ LHA Time Sight cos LHA = (sin H - sin Dec sin B)/(cos Dec cos B)

NAVIGATIONAL ALGORITHMS

Navegación Electrónica



Índice

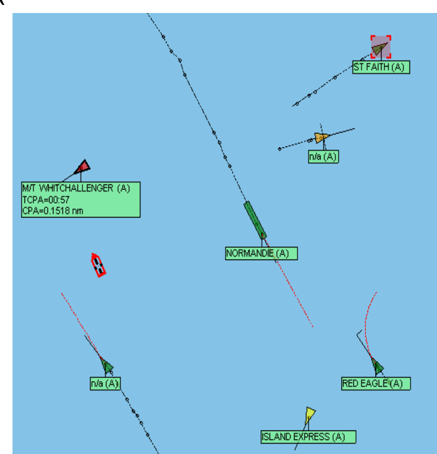
Navigational Algorithms
San Sebastián – Donostia
43º 19'N 002ºW

e-Navigation

e-Navigation es un concepto que comprende la recopilación armonizada, integración, intercambio, presentación y análisis de información marítima a bordo y en tierra por medios electrónicos, para mejorar la navegación y los servicios relacionados con la seguridad en el mar y la protección del medio ambiente marino.

Este concepto es desarrollado bajo los auspicios de la Organización Marítima Internacional (OMI) perteneciente a la ONU, para lograr mayor seguridad y protección en la navegación comercial a través de una mejor organización de los datos en los buques y en tierra, y un mejor intercambio de información y comunicación entre ambos, que incluye:

- Sistema de visualización de cartas electrónicas e Información (**ECDIS** - Electronic Chart Display and Information System)
- Sistema de Identificación Automática (**AIS** - Automatic Identification System)



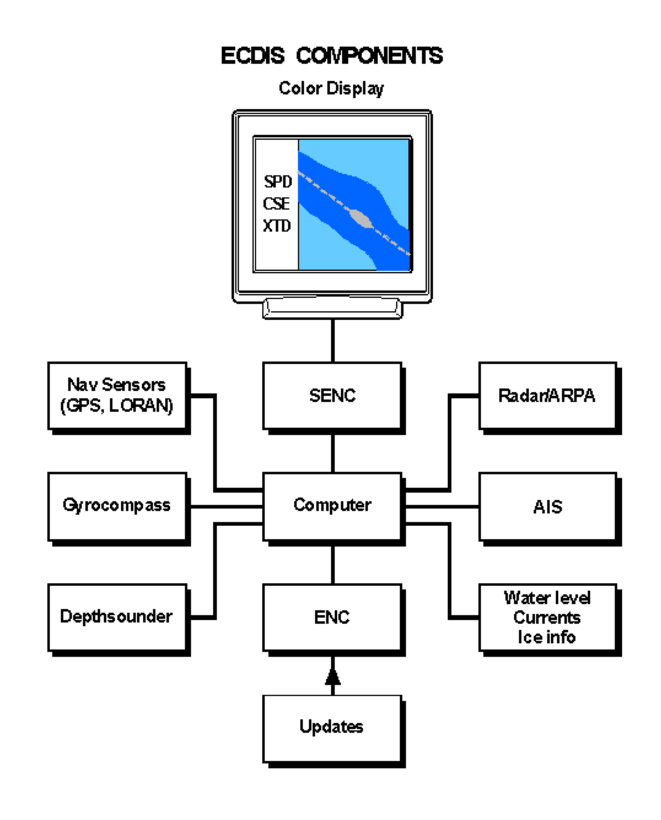
- Sistemas integrados de puente / Sistemas integrados de navegación (**SIP**/**SIN** - Integrated Bridge Systems/Integrated Navigation Systems)
- Radionavegación (Radiogoniómetro, RDF, VOR, …)
- Ayuda de punteo RADAR automática (**ARPA** - Automatic RADAR Plotting Aids)



- Identificación y seguimiento de largo alcance (**LRIT** - Long Range Identification and Tracking)
- Servicios de tráfico marítimo (**VTS** - Vessel Traffic Services)
- Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítimos (**GMDSS** - Global Maritime Distress Safety System).

ECDIS

Un sistema de información y visualización de cartas electrónicas, (ECDIS - Electronic Chart Display and Information System), es un sistema informático orientado a la navegación que cumple con el reglamento de la Organización Marítima Internacional (OMI) y puede ser utilizado como una alternativa a las las cartas náuticas clásicas en papel.



Muestra en pantalla las cartas náuticas electrónicas e integra la información de un sistema global de navegación por satélite GNSS: GPS, Galileo, etc. y de otros sensores de navegación, tales como RADAR, y sistemas de identificación automática (AIS). También puede mostrar información adicional proveniente de una ecosonda, viento, consumos, derroteros, etc.



El ECDIS proporciona de forma continua la posición e información de seguridad para la navegación, generando alarmas audibles y/o visuales cuando el buque se encuentra en la proximidad de peligros para la navegación.

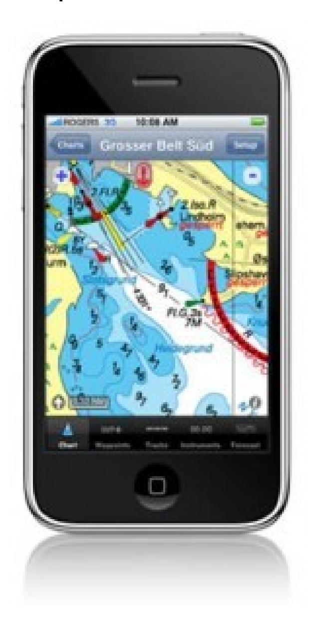
Reglamentación

ECDIS (según definición de la IHO-International Hydrographic Organization-, publicaciones: S52 y S57) es un sistema aprobado de navegación que cumple con los requerimientos establecidos para las cartas de papel convencional por el reglamento V/19 del Convenio SOLAS 1974. Los requisitos de funcionamiento son definidos por la OMI y los ensayos consiguientes han sido desarrollados por la *Comisión Electrotécnica Internacional* (IEC) en la norma internacional IEC 61174.

ECS

Si bien el ECDIS es un sistema profesional utilizado en la marina mercante y en la armada entre otros, las embarcaciones de recreo suelen elegir un sistema de navegación electrónica más simple, que suele estar compuesto por plotter comercial de cartografía digital conectado a un GPS. Suelen ser robustos y estancos, habiendo versiones de dispositivos fijos y portátiles.

Por su versatilidad y precio, se están generalizando las soluciones basadas en un PC, PDA, smartphone o Tablet.



Además del hardware, son necesarios:

- software de navegación
- cartografía digital
- GPS
- Otras opciones integrables como RADAR, AIS, sonda, viento aparente, consumo de combustible, corredera, compás, etc.

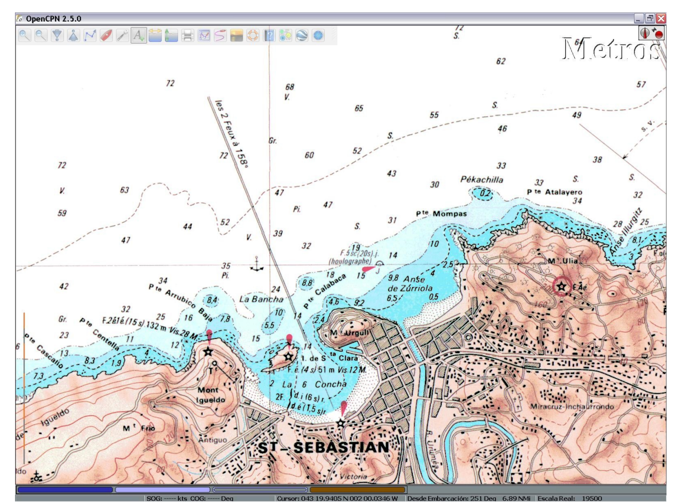
La OMI se refiere a estos sistemas, similares al ECDIS que no cumplen con su regulación, como Sistemas de Cartas Electrónicas: ECS-Electronic Chart Systems.

Cartografía digital

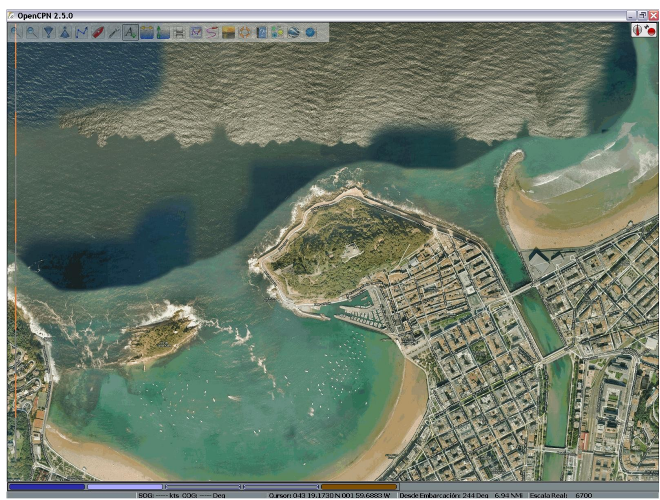
Una carta náutica representa parte de la superficie del planeta Tierra sobre un plano. Muestra la profundidad del agua, la costa y los terrenos adyacentes, las características topográficas destacadas, las ayudas a la navegación, y otra información de interés para la navegación.

Las cartas náuticas clásicas están impresas en papel. Las cartas electrónicas o digitales pueden ser simplemente una versión digital de una carta de papel, en cuyo caso se llaman *raster*, o pueden consistir en una base de datos que ordena la información en capas para su tratamiento y visualización: cartas *vectoriales*.

RNC – Raster Navigational Chart



Carta 6558 SHOM



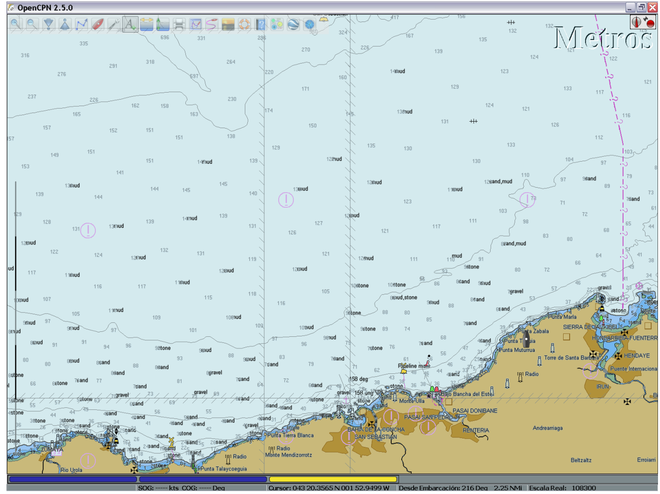
Fotografía georeferenciada.

ENC - Electronic Navigational Chart

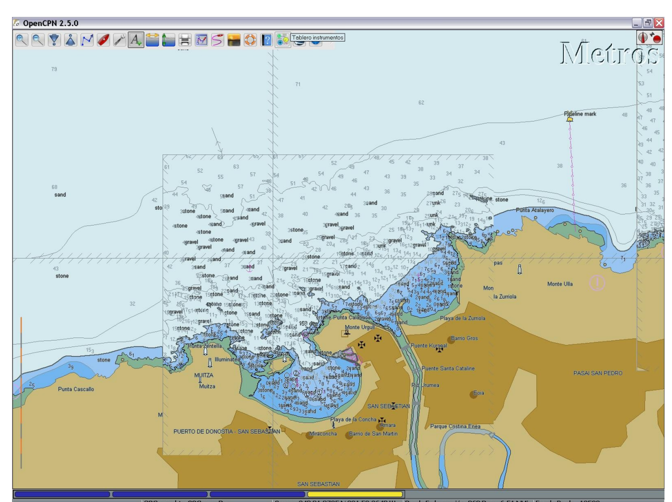
Son cartas náuticas digitales vectoriales conformes a los estándares internacionales, publicadas por las oficinas hidrográficas.

Se actualizan generalmente vía Internet.

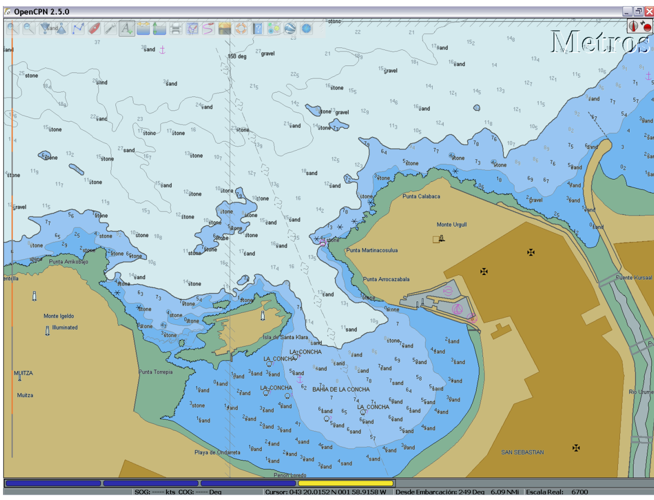
La denominación DNC -Digital Nautical Chart- se refiere a las producidas por la NGA



Navegación costera - Zoom alejar



Equivalente vectorial de la carta 6558 SHOM

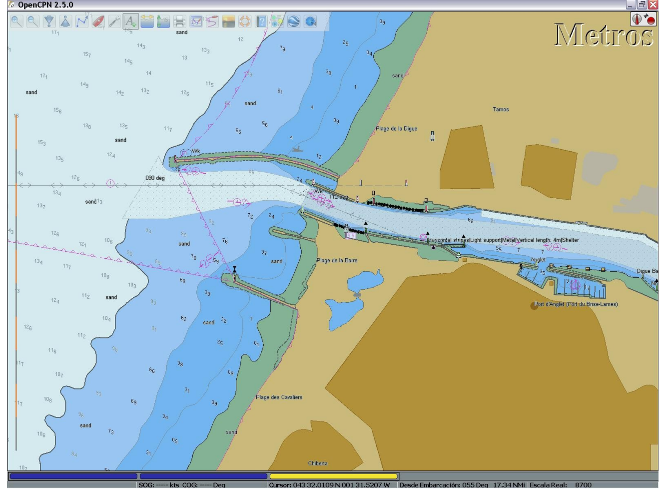


Portulano - Zoom acercar.

ANEXO

OpenCPN

Es un software gratuito y abierto de navegación electrónica basado en cartografía digital y GPS, para uso en ruta o planificación de la travesía.



http://opencpn.org/

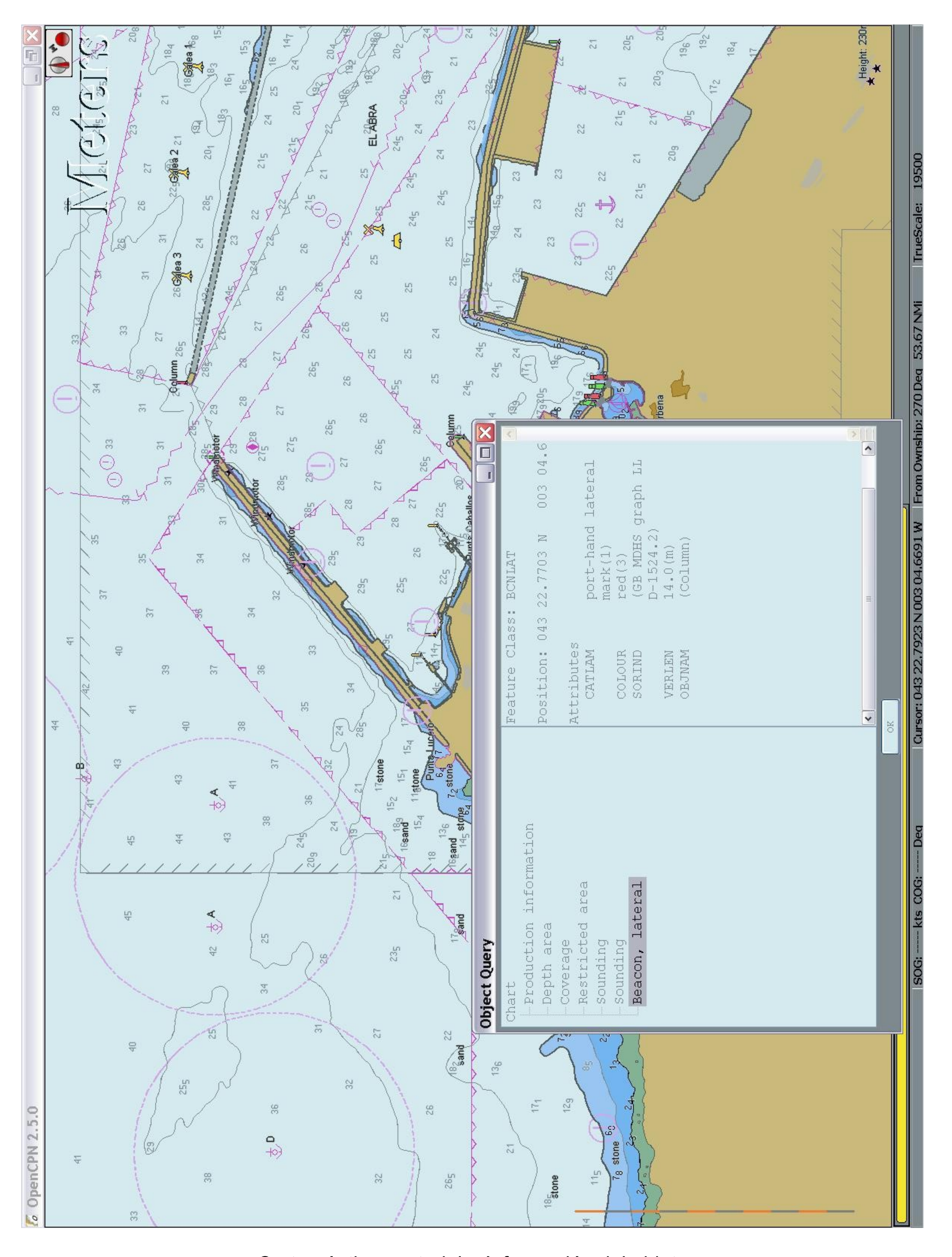
- Permite utilizar cartas náuticas digitales raster y vectoriales, incluyendo las de formato S57.
- Incluye un tablero de instrumentos para motorización en pantalla de los datos provenientes de los sensores de la embarcación vía el protocolo NMEA 0183, soportando un piloto automático.
- Incluye AIS con seguimiento del blanco y alarmas.
- Posee funciones de alarma de fondeo.
- Soporta la entrada de archivos GRIB para la visualización de datos meteorológicos y pronóstico del tiempo.
- Facilita la predicción de mareas y corrientes.

Otro software de navegación

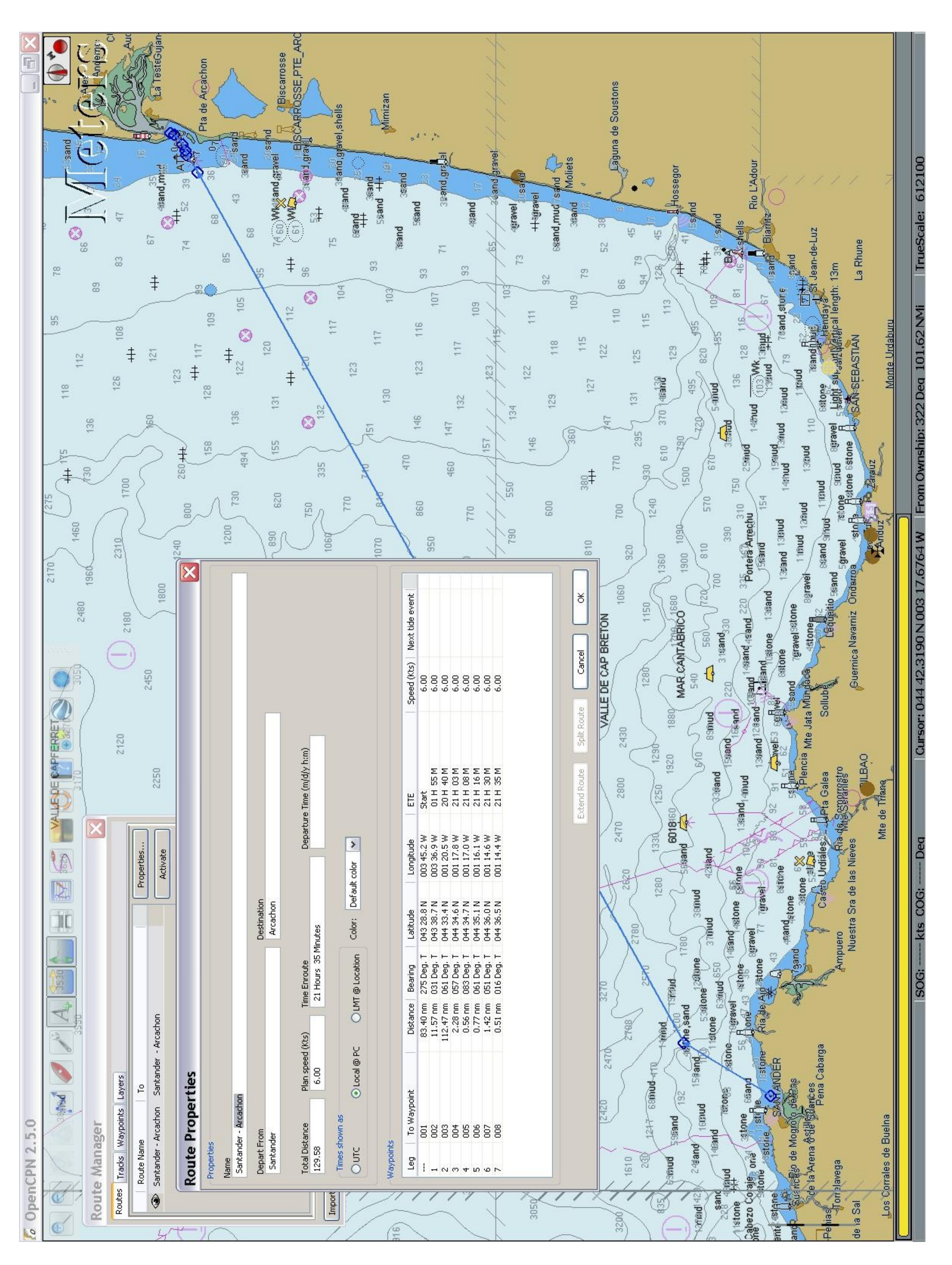
http://www.nauticalcharts.noaa.gov/mcd/Raster/index.htm#software

http://www.nauticalcharts.noaa.gov/mcd/enc/resource.htm

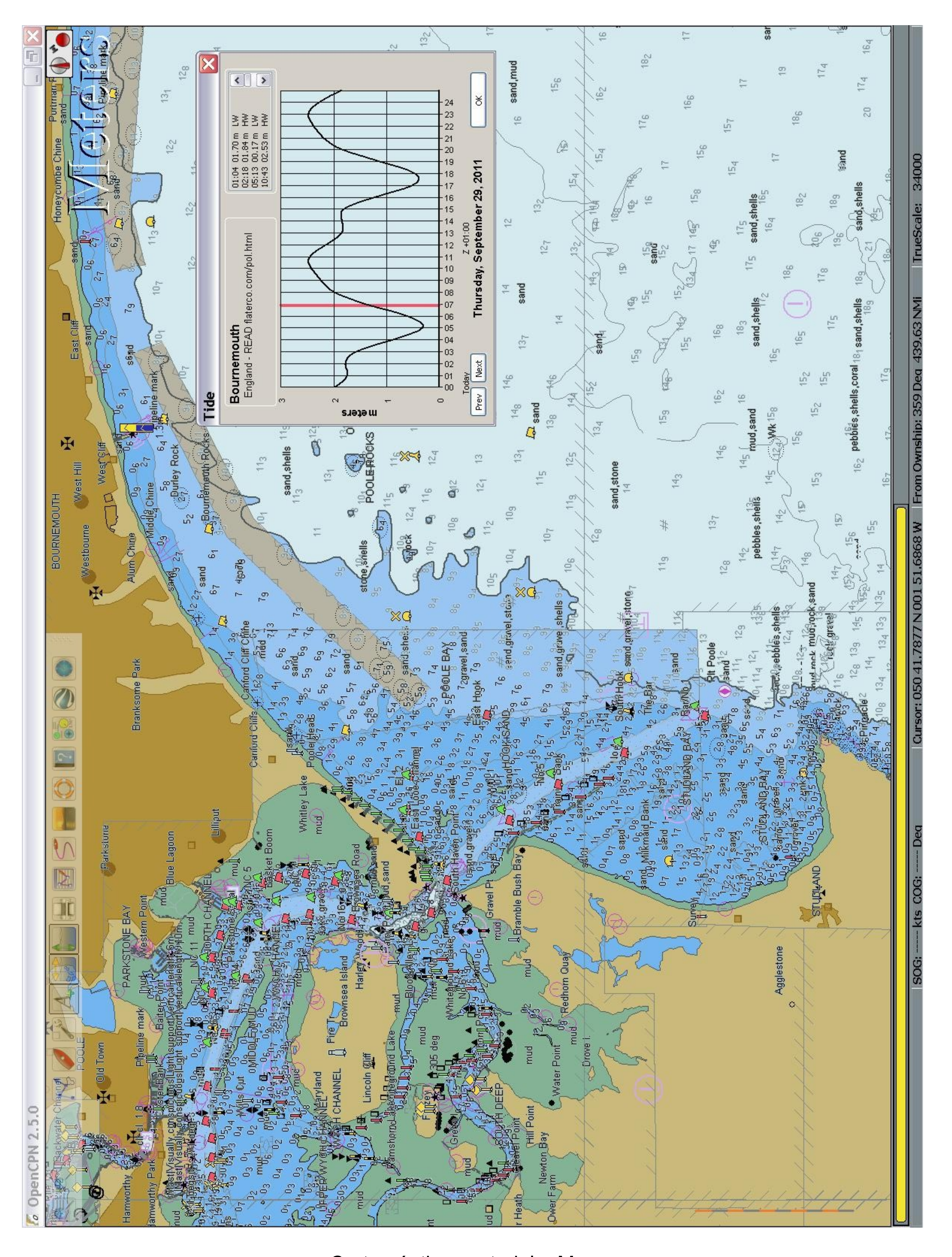
A continuación se muestran unas capturas de pantalla para mostrar las posibilidades de un ECS, en este caso, de un sistema basado en OpenCPN a bordo.



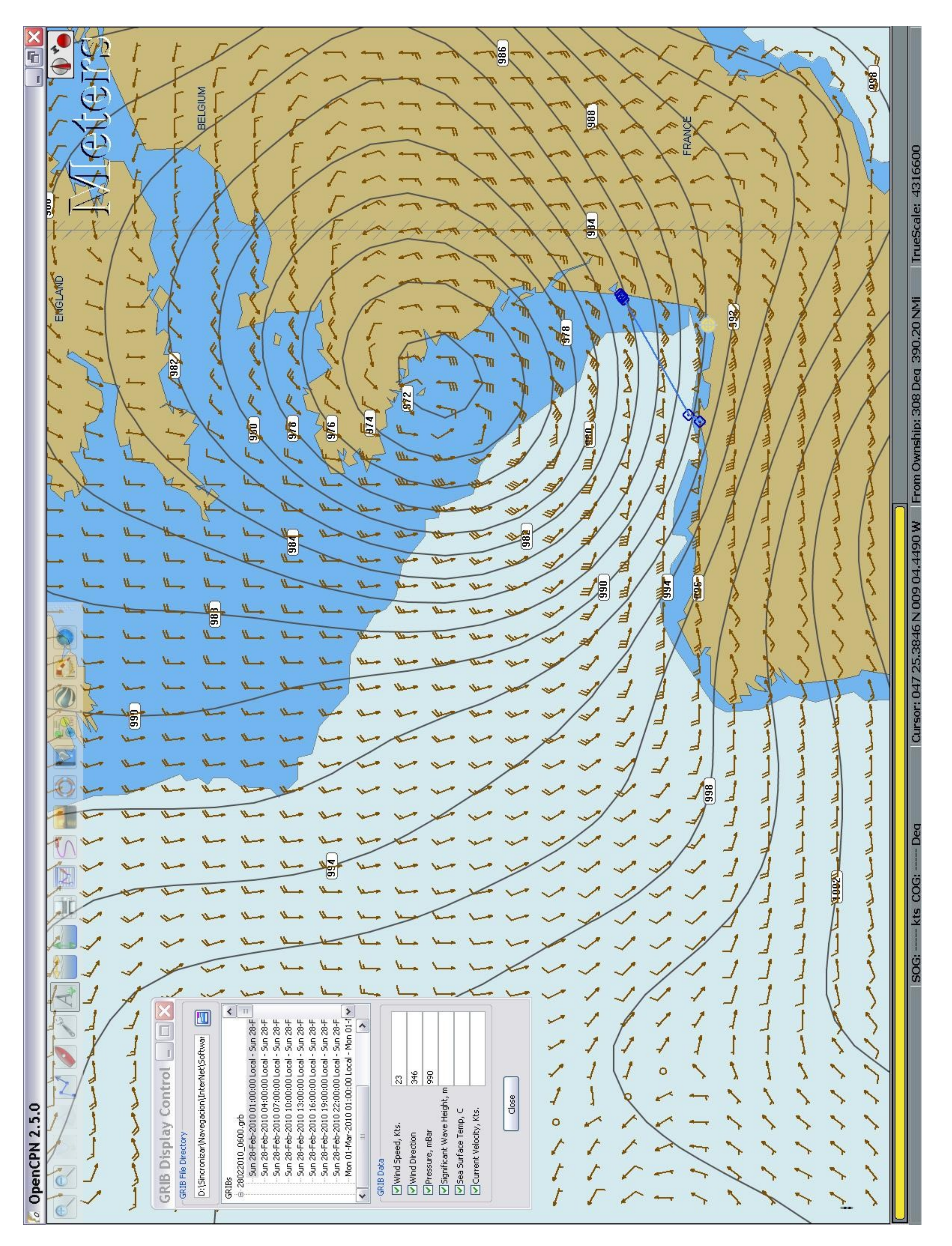
Carta náutica vectorial – Información del objeto



Planificación de la ruta

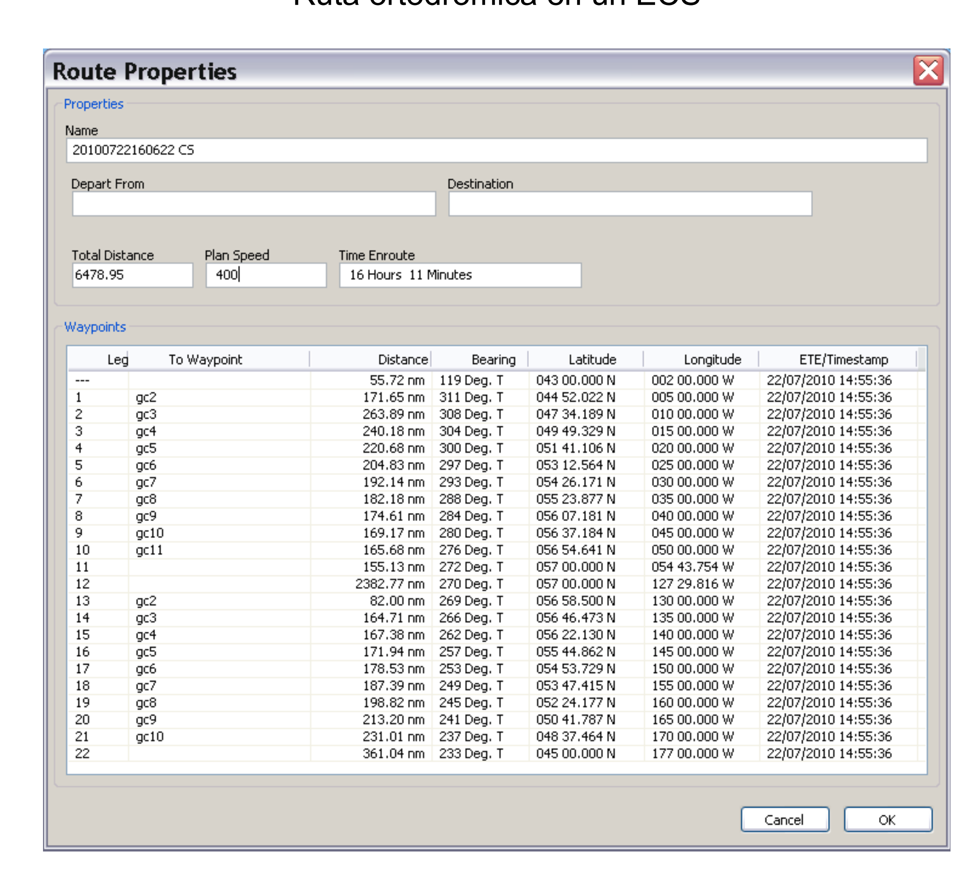


Carta náutica vectorial – Marea



Información meteorológica GRIB

Ruta ortodrómica en un ECS



Route Properties

Properties

Name: 20100722160622 CS

Depart From:

Destination:

Total Distance: 6478.95

Plan Speed: 400

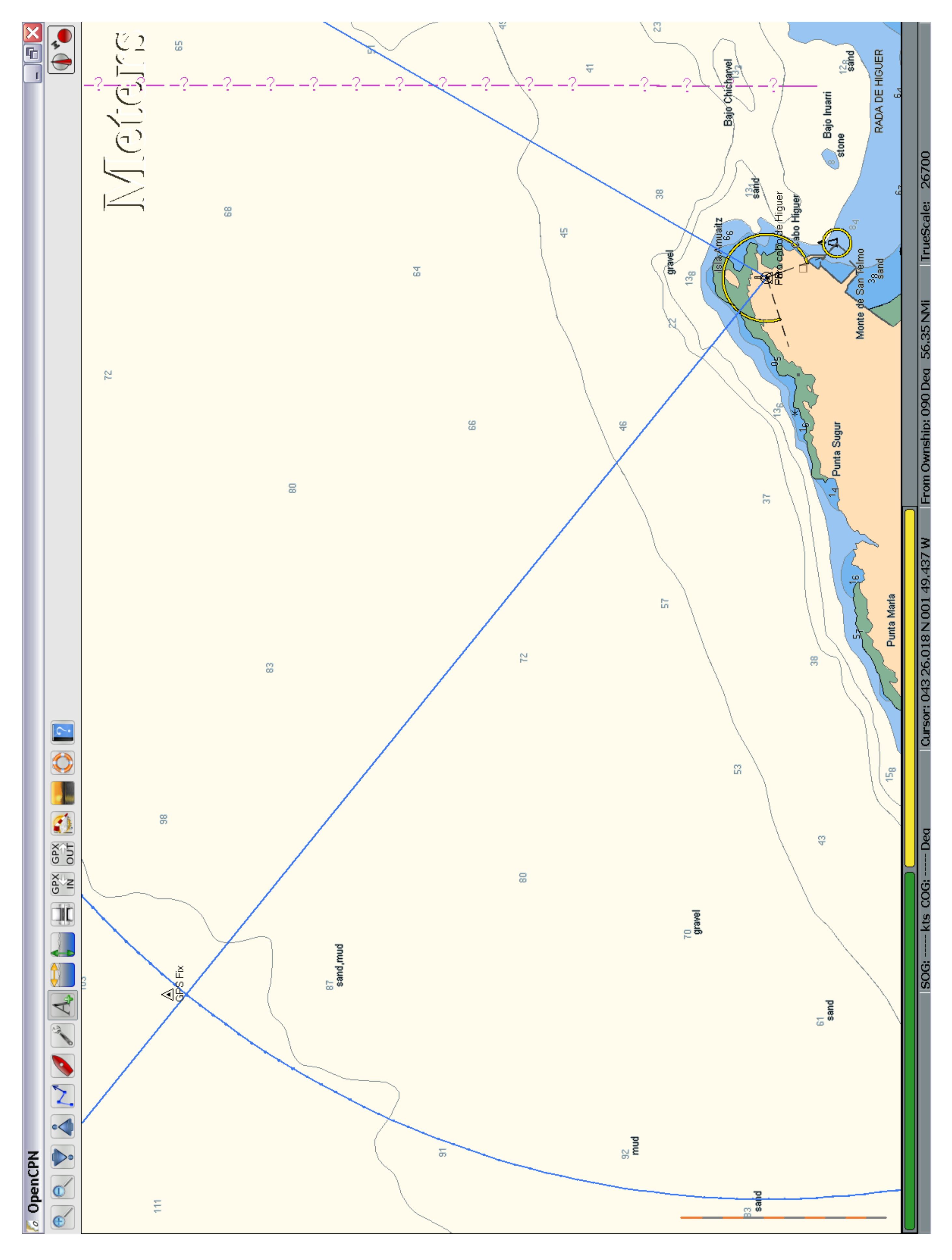
Time Enroute: 16 Hours 11 Minutes

Waypoints

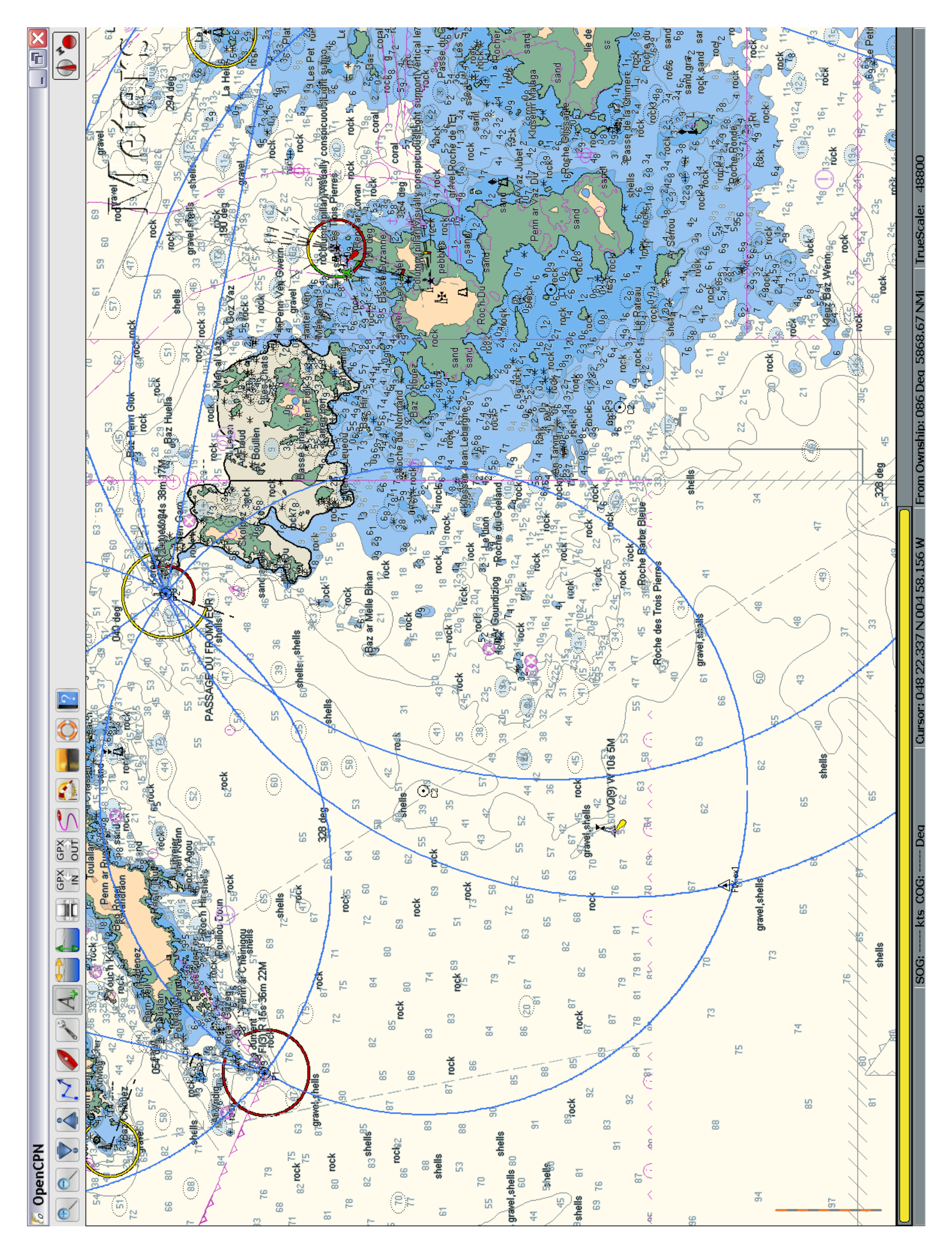
Leg	To Waypoint	Distance	Bearing	Latitude	Longitude	ETE/Timestamp
---		55.72 nm	119 Deg. T	043 00.000 N	002 00.000 W	22/07/2010 14:55:36
1	gc2	171.65 nm	311 Deg. T	044 52.022 N	005 00.000 W	22/07/2010 14:55:36
2	gc3	263.89 nm	308 Deg. T	047 34.189 N	010 00.000 W	22/07/2010 14:55:36
3	gc4	240.18 nm	304 Deg. T	049 49.329 N	015 00.000 W	22/07/2010 14:55:36
4	gc5	220.68 nm	300 Deg. T	051 41.106 N	020 00.000 W	22/07/2010 14:55:36
5	gc6	204.83 nm	297 Deg. T	053 12.564 N	025 00.000 W	22/07/2010 14:55:36
6	gc7	192.14 nm	293 Deg. T	054 26.171 N	030 00.000 W	22/07/2010 14:55:36
7	gc8	182.18 nm	288 Deg. T	055 23.877 N	035 00.000 W	22/07/2010 14:55:36
8	gc9	174.61 nm	284 Deg. T	056 07.181 N	040 00.000 W	22/07/2010 14:55:36
9	gc10	169.17 nm	280 Deg. T	056 37.184 N	045 00.000 W	22/07/2010 14:55:36
10	gc11	165.68 nm	276 Deg. T	056 54.641 N	050 00.000 W	22/07/2010 14:55:36
11		155.13 nm	272 Deg. T	057 00.000 N	054 43.754 W	22/07/2010 14:55:36
12		2382.77 nm	270 Deg. T	057 00.000 N	127 29.816 W	22/07/2010 14:55:36
13	gc2	82.00 nm	269 Deg. T	056 58.500 N	130 00.000 W	22/07/2010 14:55:36
14	gc3	164.71 nm	266 Deg. T	056 46.473 N	135 00.000 W	22/07/2010 14:55:36
15	gc4	167.38 nm	262 Deg. T	056 22.130 N	140 00.000 W	22/07/2010 14:55:36
16	gc5	171.94 nm	257 Deg. T	055 44.862 N	145 00.000 W	22/07/2010 14:55:36
17	gc6	178.53 nm	253 Deg. T	054 53.729 N	150 00.000 W	22/07/2010 14:55:36
18	gc7	187.39 nm	249 Deg. T	053 47.415 N	155 00.000 W	22/07/2010 14:55:36
19	gc8	198.82 nm	245 Deg. T	052 24.177 N	160 00.000 W	22/07/2010 14:55:36
20	gc9	213.20 nm	241 Deg. T	050 41.787 N	165 00.000 W	22/07/2010 14:55:36
21	gc10	231.01 nm	237 Deg. T	048 37.464 N	170 00.000 W	22/07/2010 14:55:36
22		361.04 nm	233 Deg. T	045 00.000 N	177 00.000 W	22/07/2010 14:55:36

Cancel OK

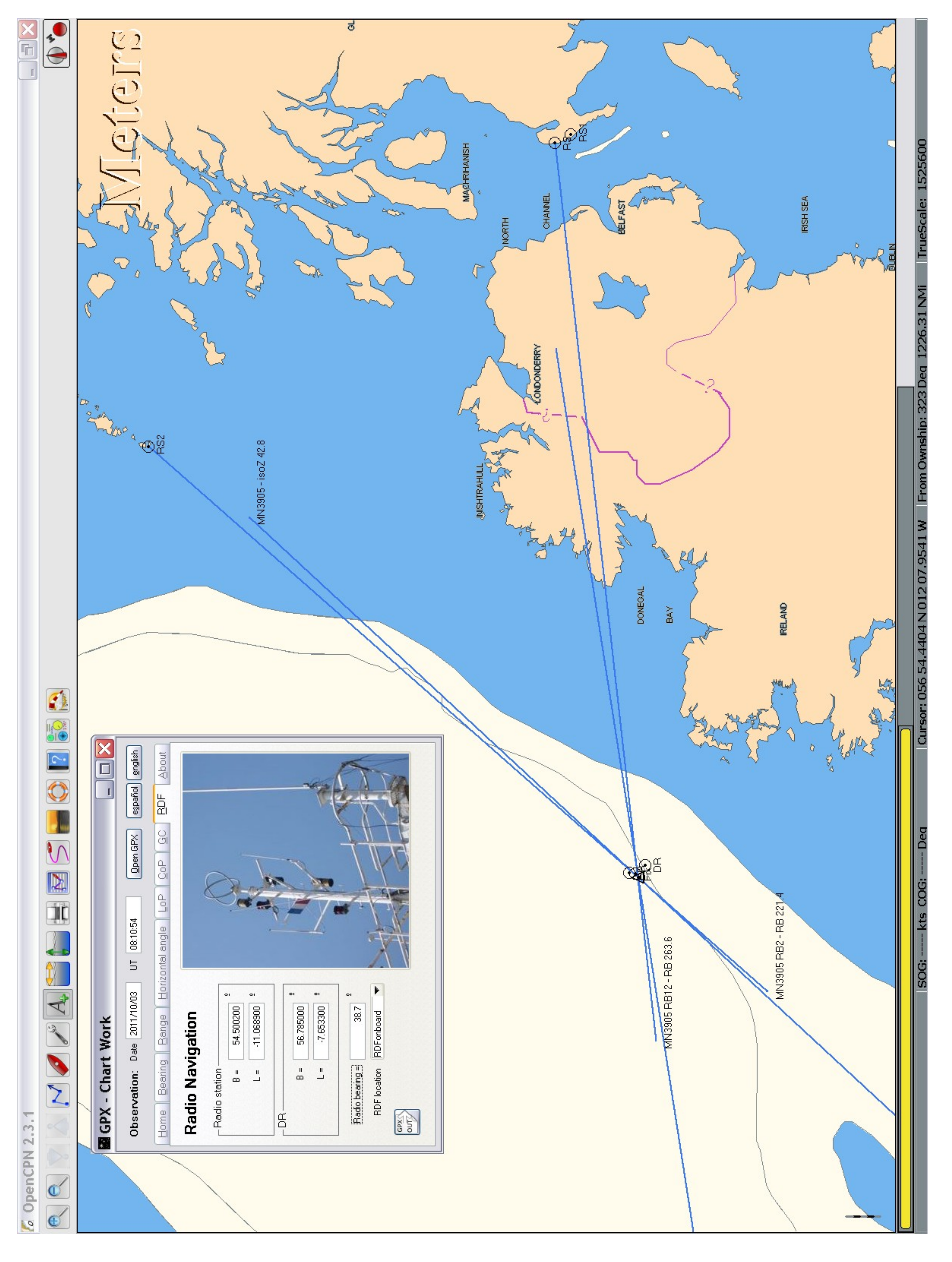
Navegación astronómica en un ECS: círculos de alturas iguales y posición



Navegación costera en un ECS: posición por demora y distancia simultaneas.

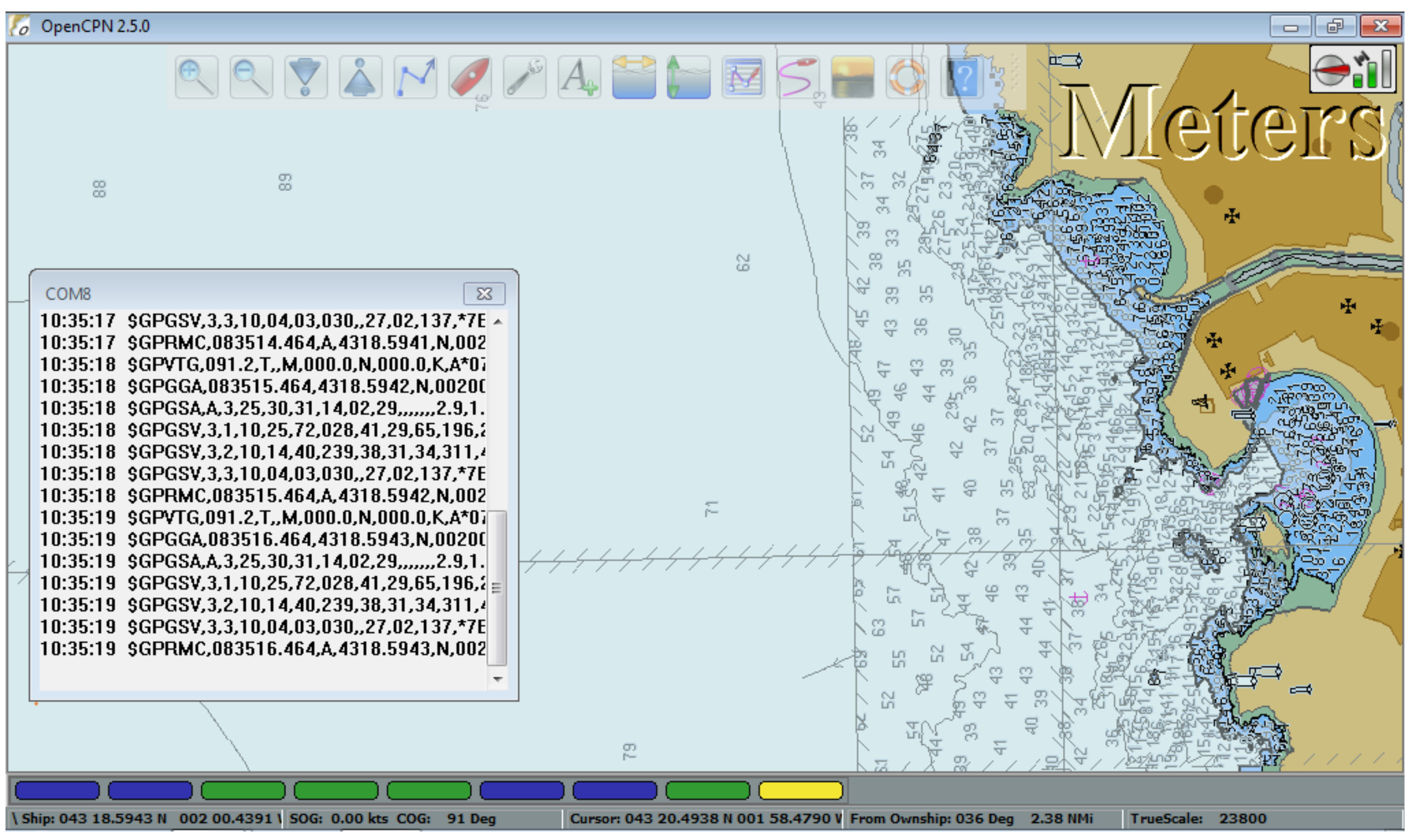


Navegación costera en un ECS: posición por ángulos horizontales.

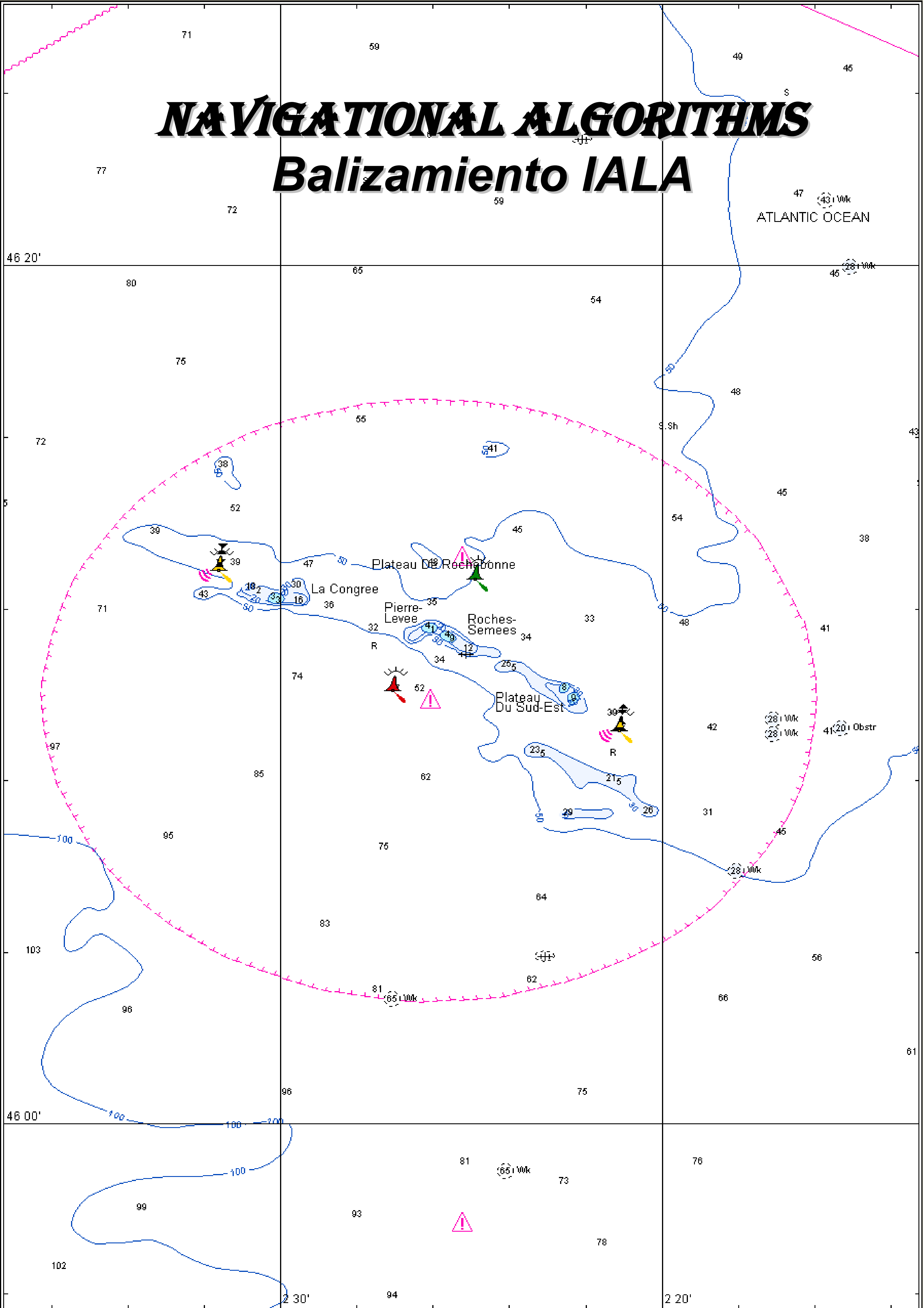


Radionavegación: posición por dos radiodemoras.

Posición y rumbo y distancia al destino.



Presentación rumbo arriba y ventana de datos NMEA.


NAVIGATIONAL ALGORITHMS
Balizamiento IALA
ATLANTIC OCEAN
46 20'
Plateau De Rochebonne
La Congree
Pierre-
Levee
Roches-
Semees
Plateau
Du Sud-Est
46 00'
2 30'
2 20'

Índice

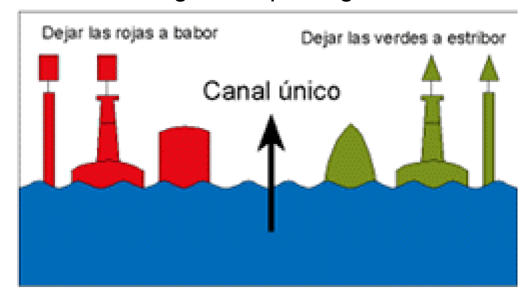
En navegación costera es fundamental para efectuar una travesía segura el preparar con antelación la derrota a seguir, estudiando con detalle los peligros que puedan aparecer en el rumbo tomado. Estos peligros pueden aparecer señalizados, o no, en las cartas náuticas. Cuando están marcados por medio de una baliza, siguen en general lo establecido por la “Asociación Internacional de Señalización Marítima”: **IALA**, International Association of Lighthouse Authorities - **AISM**, Asociación Internacional de Señalización Marítima

Versión actual: 2008
San Sebastián – Donostia
43º 19’N 002ºW

Señales laterales. IALA A

Señales laterales en canal único

Situadas en canales y entradas a puerto para facilitar el acceso a los navegantes que llegan del exterior.

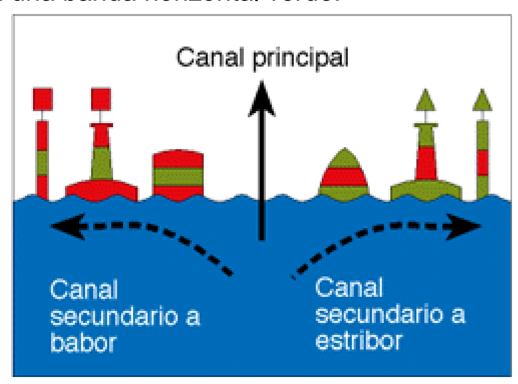


Canales con bifurcaciones

En bifurcaciones, las marcas laterales distinguen el canal principal del secundario.

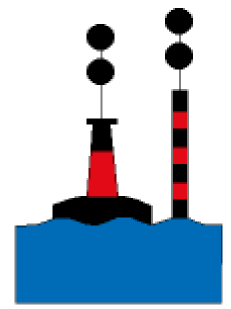
Bifurcación a estribor - (*el canal principal sigue recto o a babor*), baliza verde con tope cónico a la que se le coloca una banda horizontal roja.

Bifurcación a babor - (*el canal principal sigue recto o a estribor*), baliza roja con tope cilíndrico a la que se le coloca una banda horizontal verde.



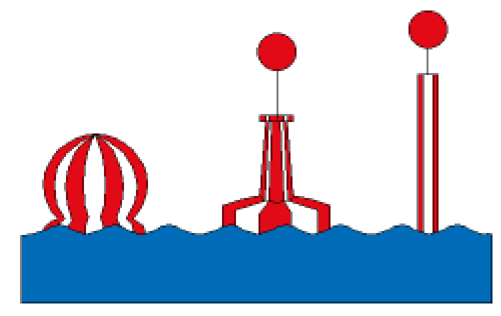
Señales de peligro aislado

Para señalizar peligros de pequeño tamaño, como alguna roca aislada, un pecio semisumergido, etc. no se suelen utilizar las señales cardinales sino las de peligro aislado que se colocan justo encima. Esto indica que alrededor de ella las aguas son navegables.



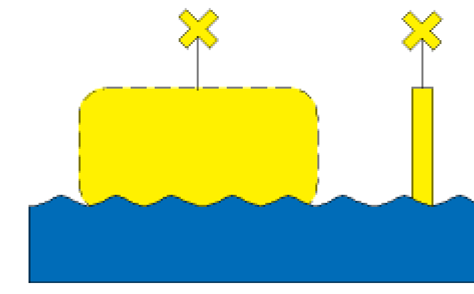
Señales de aguas navegables

Se colocan en las entradas de los canales o en los pasos difíciles para indicar la zona de menor peligro, por lo que lo más seguro es pasar cerca de ella.



Señales especiales

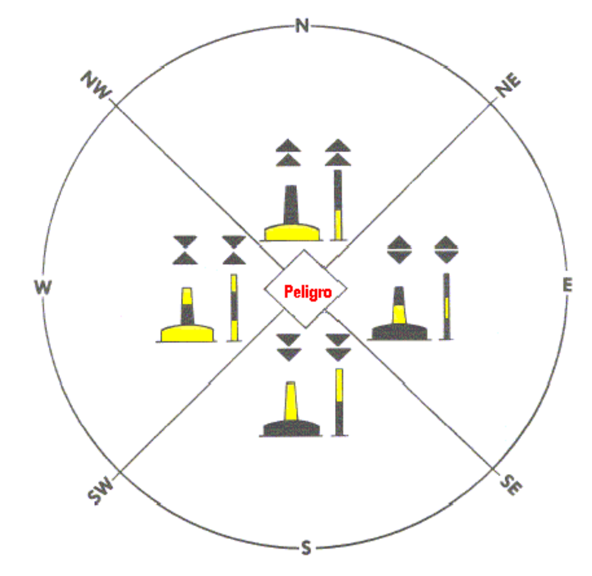
Indican zonas sujetas a una reglamentación especial y que están referenciadas en las publicaciones adecuadas: SADO, vertederos de dragados, cables, zonas militares...



Señales cardinales

Se utilizan para señalar la presencia de puntos especialmente peligrosos (rocas, barcos semihundidos, etc.) y diferenciar así las aguas navegables de las que no lo son.

Hacen referencia a los puntos cardinales - Norte, Sur, Este y Oeste - definiendo su propia posición en relación con el punto peligroso que están señalizando. *Así por ejemplo, la señal cardinal Este está situada al este del peligro, por lo que se deberá pasar al este de esta señal para navegar seguro*.



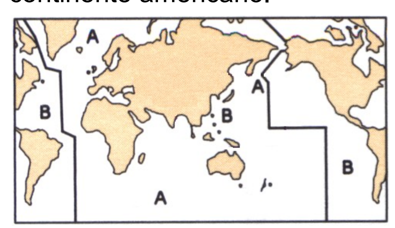
Señales luminosas

Marca	Color	Ritmo
Señales laterales en canal único	R/V	GpD(x)
Canales con bifurcaciones	R/V	GpD(2+1)
Señales cardinales	B	GpRp / GpCt (1,3,6,9) N,E,S,W
Señales de peligro aislado	B	GpD(2)
Señales de aguas navegables	B	Iso L(10")
Señales especiales	A	Cualquiera no usado para luces blancas

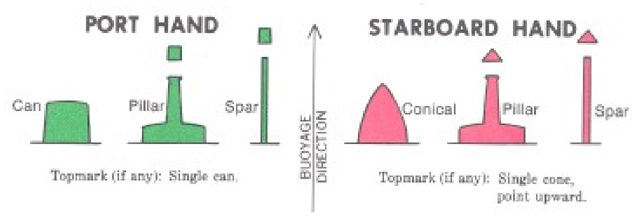
Sistemas IALA A y B

El sistema IALA A está establecido en Europa, Africa y la mayor parte de Asia y Oceanía.

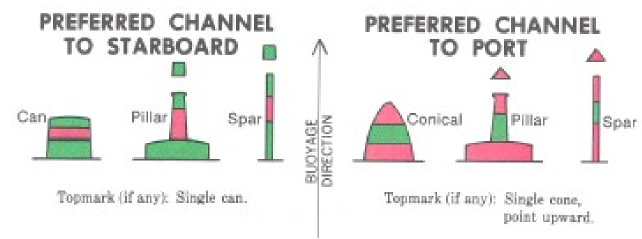
El sistema B en América del norte y sur, Japón, Corea del Sur, Filipinas y las zonas de Oceanía cercanas al continente americano.



Se distinguen en que los colores de las señales laterales están invertidos. Es decir, si en el sistema A una baliza verde significa que debe dejarse a estribor, en el sistema B debe dejarse a babor. El código de los conos y cilindros es el mismo.

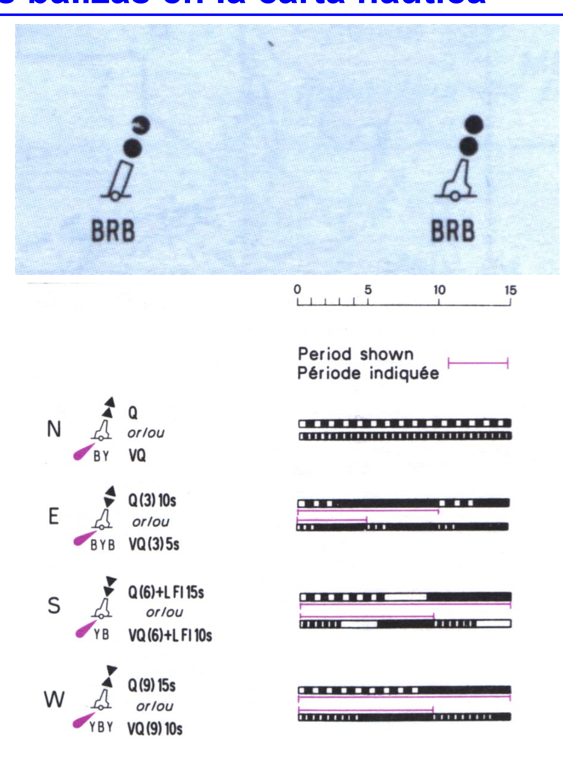


IALA B - *Señales laterales en canal único*



IALA B - *Canales con bifurcaciones*

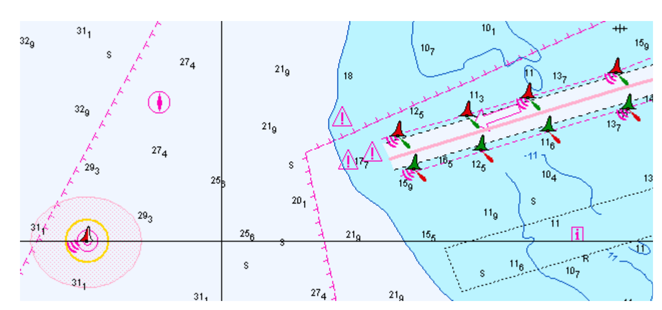
Las balizas en la carta náutica



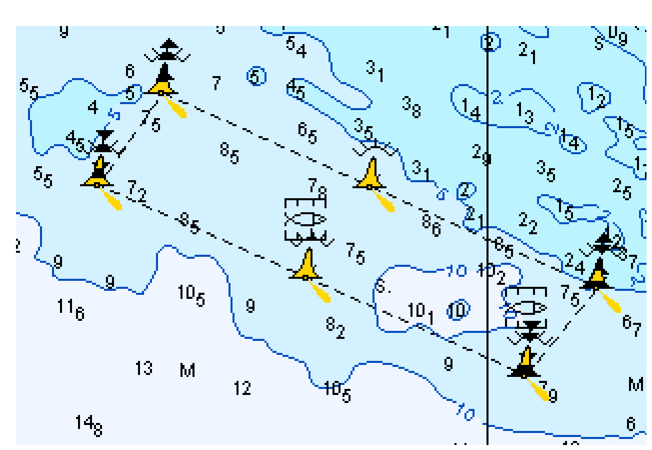
Canales



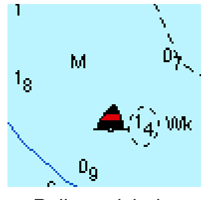
Distintas marcas



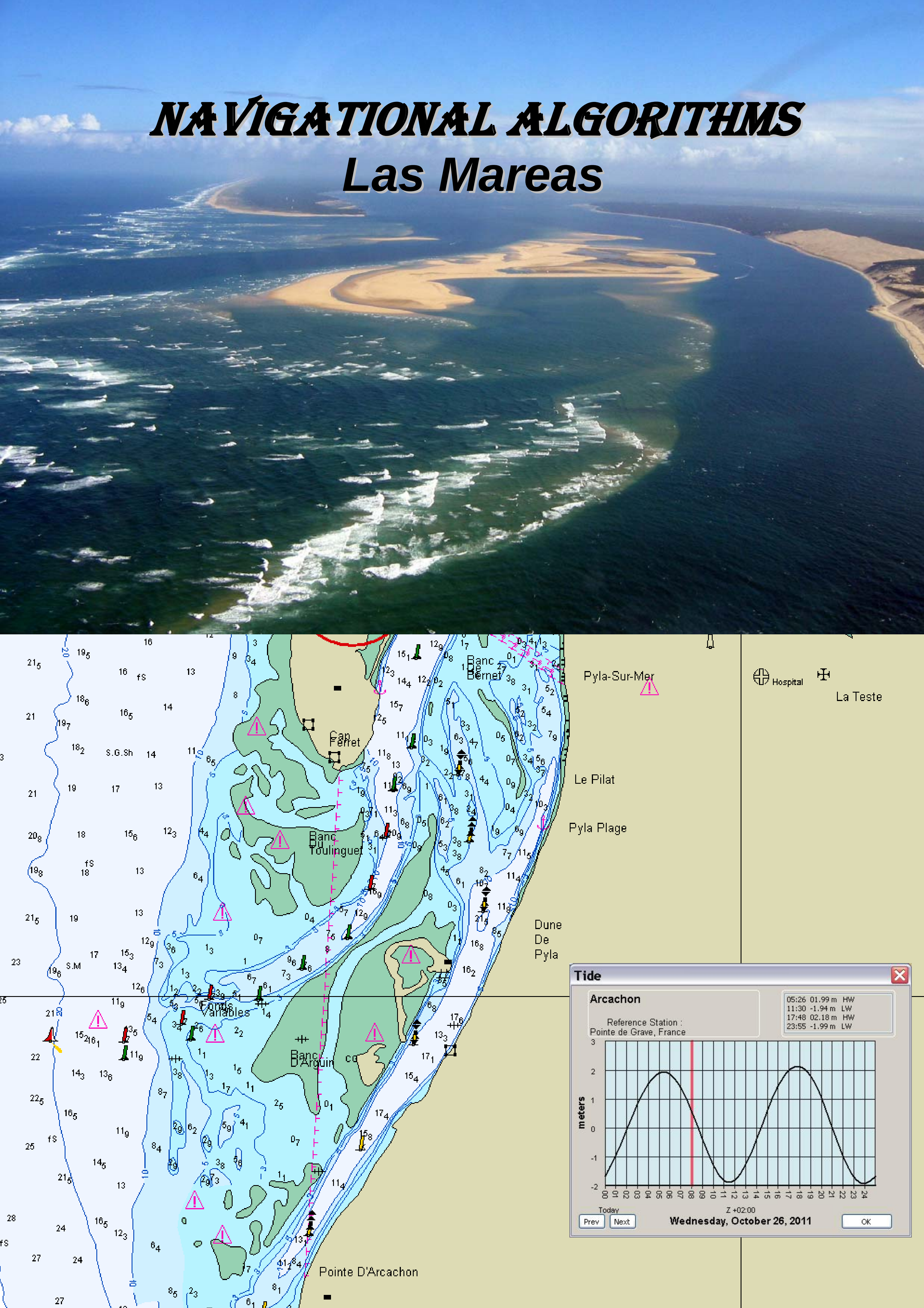
Baliza de aguas navegables y marcas laterales en el canal de acceso al Golden Gate, San Francisco.



Marcas cardinales y especiales en la Isla de Re, Francia.



Peligro aislado.


NAVIGATIONAL ALGORITHMS
Las Mareas
Cap Ferret
Banc De Bernet
Pyla-Sur-Mer
Hospital
La Teste
Le Pilat
Pyla Plage
Banc Du Toulinguet
Dune De Pyla
Fonds Variables
Banc D'Arguin
Pointe D'Arcachon
Tide
Arcachon
Reference Station :
Pointe de Grave, France
05:26 01.99 m HW
11:30 -1.94 m LW
17:48 02.18 m HW
23:55 -1.99 m LW
meters
Today
Z +02:00
Prev
Next
Wednesday, October 26, 2011
OK

Índice

Las mareas tienen gran importancia en navegación marítima, sobre cuando se navega cerca de la costa, en bahías o en estuarios. Sus efectos sobre la embarcación hacen que deban extremarse las precauciones para evitar una varada o daños mayores.

En este artículo se da una pequeña noción de cómo se producen las mareas, y se describen los cálculos más comunes en navegación costera.



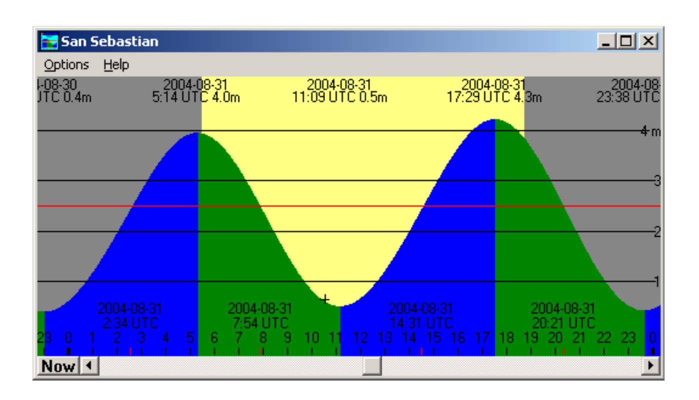


San Sebastián – Donostia
43º 19'N 002ºW

Naturaleza de las mareas

Las fuerzas de atracción que ejercen la Luna y el Sol sobre La Tierra, provocan movimientos ascendentes y descendentes de la superficie del agua, principalmente de los océanos, llamados mareas.

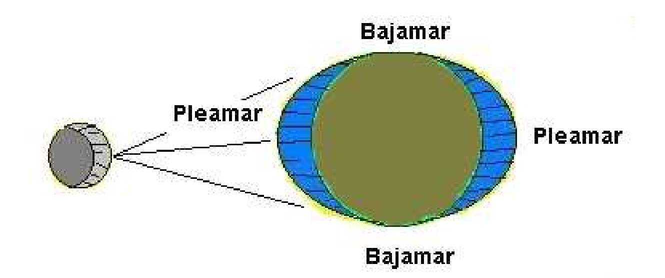
Se trata de un movimiento periódico, que se compone de dos pleamares y dos bajamares en un periodo de 24 horas, constituyendo las **mareas semidiurnas**.



Según la ley de la gravitación de Newton, la fuerza de atracción es proporcional a la masa e inversamente proporcional a cuadrado de la distancia entre los objetos. Esta fuerza es mayor para la Luna que para el Sol, y actúa sobre la superficie oceánica.

$$F = G\frac{M_1 \cdot m_2}{d^2}$$

Las mareas varían dependiendo de la posición y de la distancia de la Luna con respecto al Sol y La Tierra.

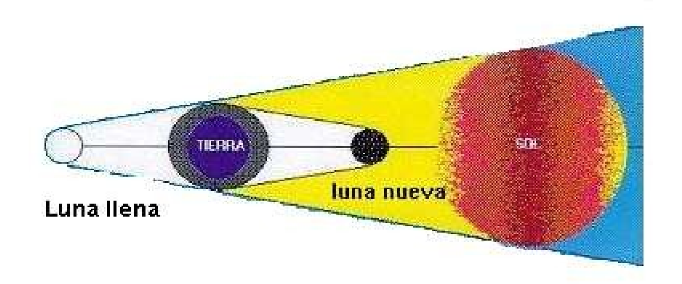


Las fases de la Luna

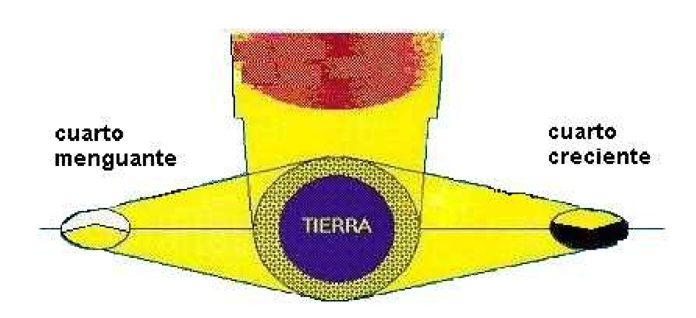
Mareas de sicigias, y de cuadratura

Se presentan según la **posición** de la Luna con respecto al Sol y a La Tierra.

Mareas de Sicigias ó mareas vivas: se producen cuando la Luna y el Sol están en conjunción (Luna nueva) o en oposición (Luna llena). En este caso los efectos de ambos astros se suman, provocando pleamares más altas y bajamares más bajas que las mareas promedio.



Mareas de Cuadratura ó mareas muertas: se producen cuando el Sol y la Luna están formando ángulo recto entre sí, esta posición corresponde a la fase lunar de cuarto creciente o cuarto menguante, con lo que los efectos de atracción de ambos astros se contrarrestan dando lugar a una amplitud de marea menor al promedio.



En un mes lunar, 29.5 días, ocurren dos mareas de sicigias, y dos de cuadraturas.

Marea de perigeo, y de apogeo

Se presentan según la **distancia** entre la Luna y La Tierra.

Marea de Perigeo: Se da cuando la distancia entre la Luna y La Tierra es mínima, la amplitud de la marea aumenta.

Marea de Apogeo: Se presenta cuando la distancia entre la Luna y La Tierra es máxima, la amplitud de la marea disminuye.

Mareas Extraordinarias

Se presentan cuando coinciden las mareas de perigeo con las mareas de sicigias, originando las *mareas extra altas*. En caso contrario cuando coinciden las mareas de apogeo con las mareas de cuadratura se producen las *mareas extra*

bajas. Este tipo de mareas se presenta una vez al año.

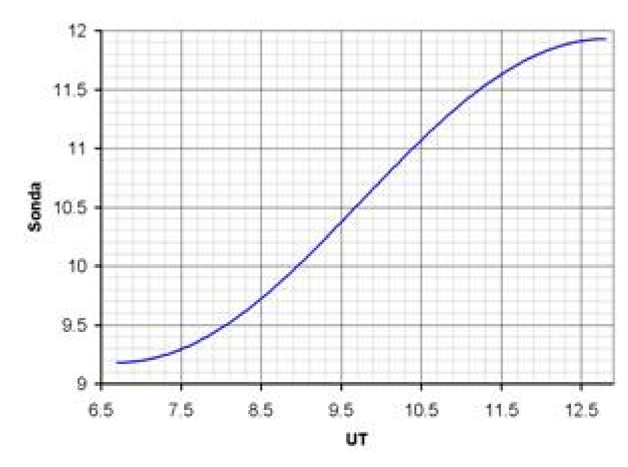
Corrientes de marea

Son los movimientos horizontales del agua que se aprecian a lo largo de las costas, rías, bahías, estuarios, fiordos,..., producidos por las mareas.

La corriente de marea entrante recibe el nombre de ***flujo***, y la corriente de marea saliente el de ***reflujo***.

Variables

		Unidades
Sc	Sonda de la carta	m
A	Altura	m
H	Hora	HMS
pl	Pleamar	
bj	Bajamar	
Dcr_va	Duración de la creciente/vaciante	HMS
Amp	Amplitud de la marea	m
Δh	Corrección en altura	m
α	Angulo en Δh	º
Δt	Intervalo de tiempo	HMS

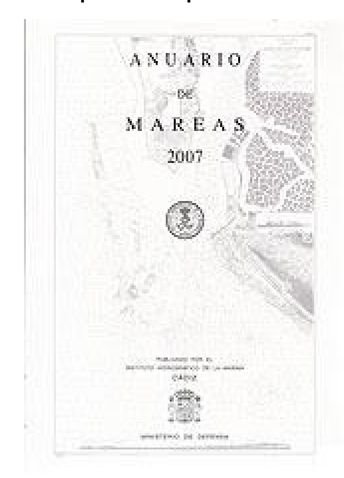


Altura de marea / tiempo.

Anuario de Mareas

El anuario de Mareas, publicado anualmente, por el Instituto Hidrográfico de cada país, proporciona la siguiente información:

- Fecha → Hpl, Apl / Hbj, Abj para el puerto patrón.
- Corrección para el puerto secundario.



Hay que tener en cuenta, que en general:

- Las alturas están referidas al Datum, (bajamar escorada o cero hidrográfico) = nivel sonda en cartas españolas
- En hora legal Hz = Hrb
- Para P = 1013 mb

Corrección por presión

La altura de las mareas se ve afectada por la presión atmosférica según la relación:

$$Ap(m) = (1013-P(mb))/100$$

Sonda del agua en momento cualquiera

S = Sc + Abj + ca

Amp = Apl – Abj

Dva_ cr = +/- (Hbj-Hpl)   (hm 0→24)

I = +/- (HRB-Hbj)

I/α = Dcr_va/180º

ca = Amp/2 (1-cos α)

Altura de marea: **Am** = Abj + ca

Agua bajo quilla: **ABQ** = S-calado

Pleamar

Para HRB = Hpl

Δt = Dcr = Hpl-Hbj

α = 180º

Δh = Amp

S = Sc+Abj+Amp = Sc+Apl

Hora en la que se produce una sonda determinada

Δh = S - Sc - Abj

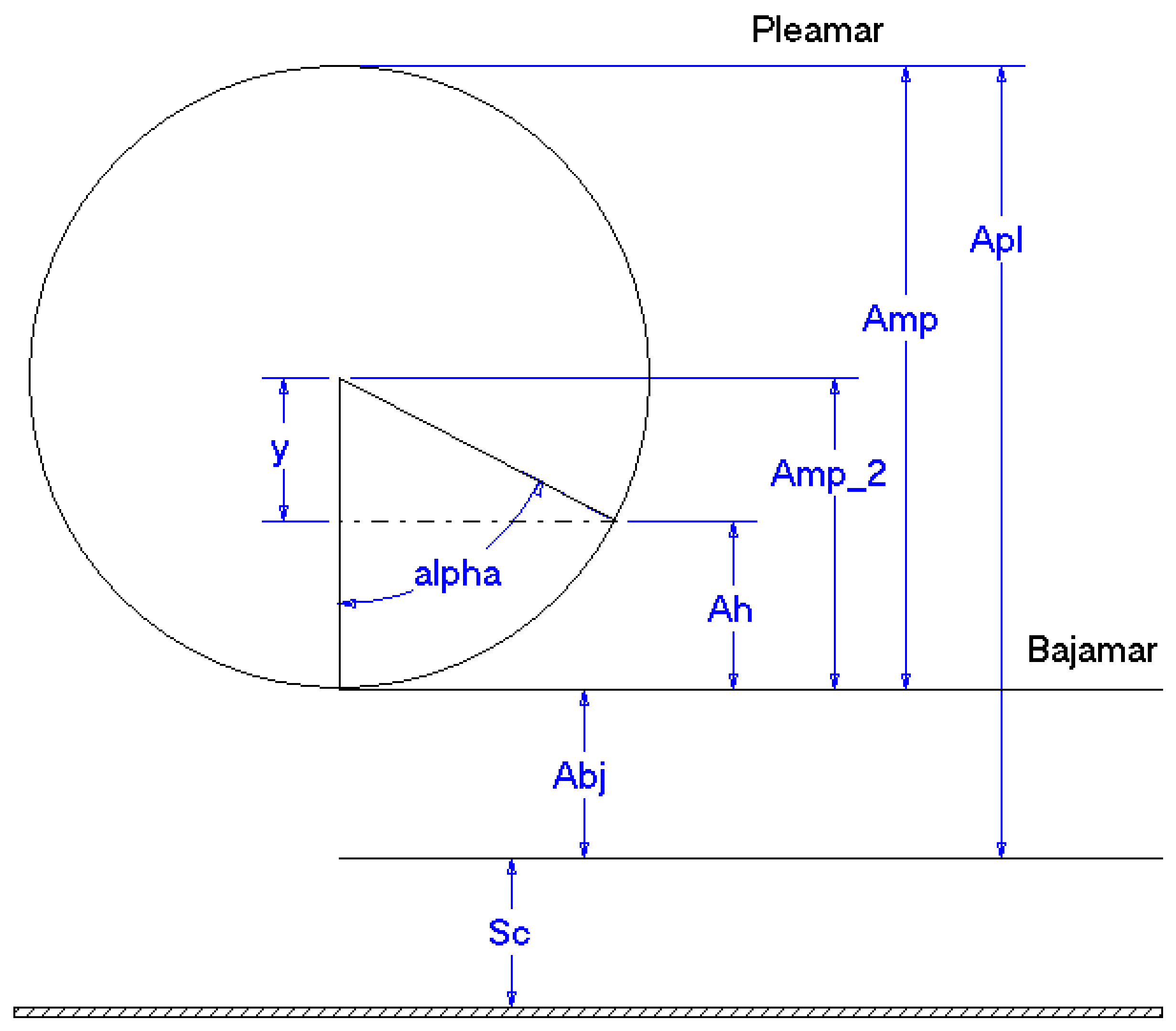
Amp = Apl – Abj

Dva_ cr = +/- (Hbj-Hpl)   (hm 0→24)

α = acos(1- 2*ca/Amp)

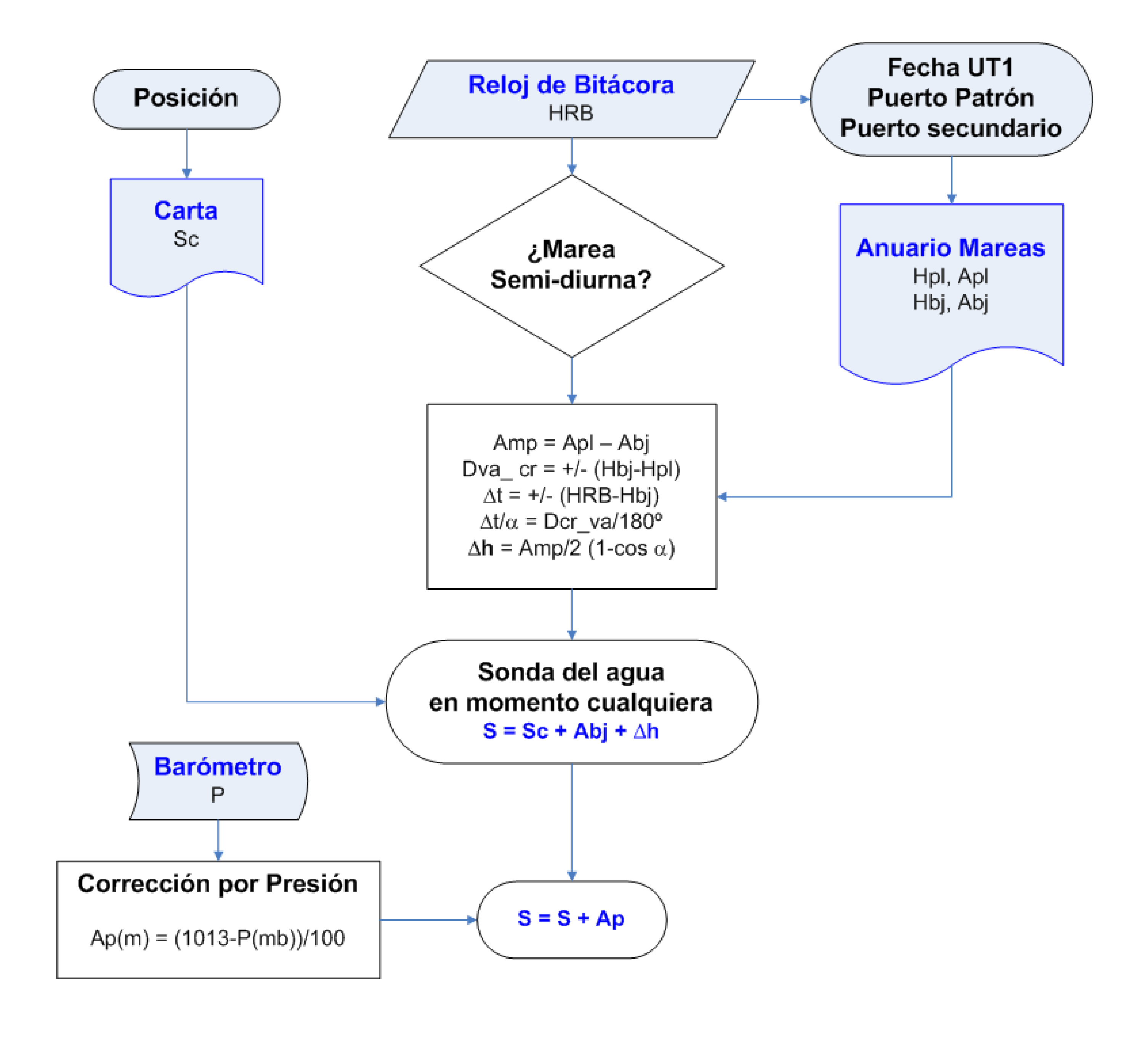
Δt = α*Dcr_va/180º

HRB = Hbj +/- Δt

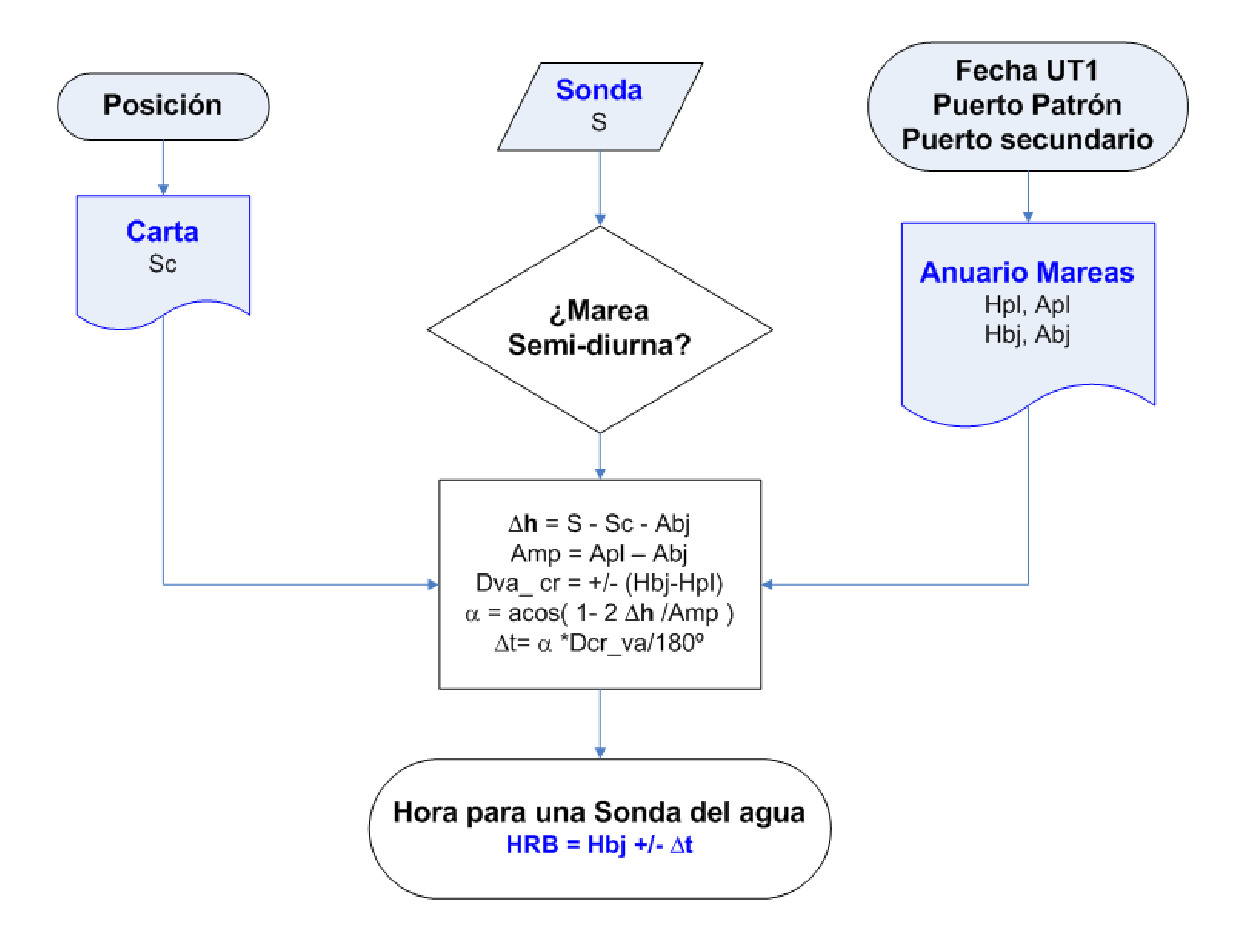


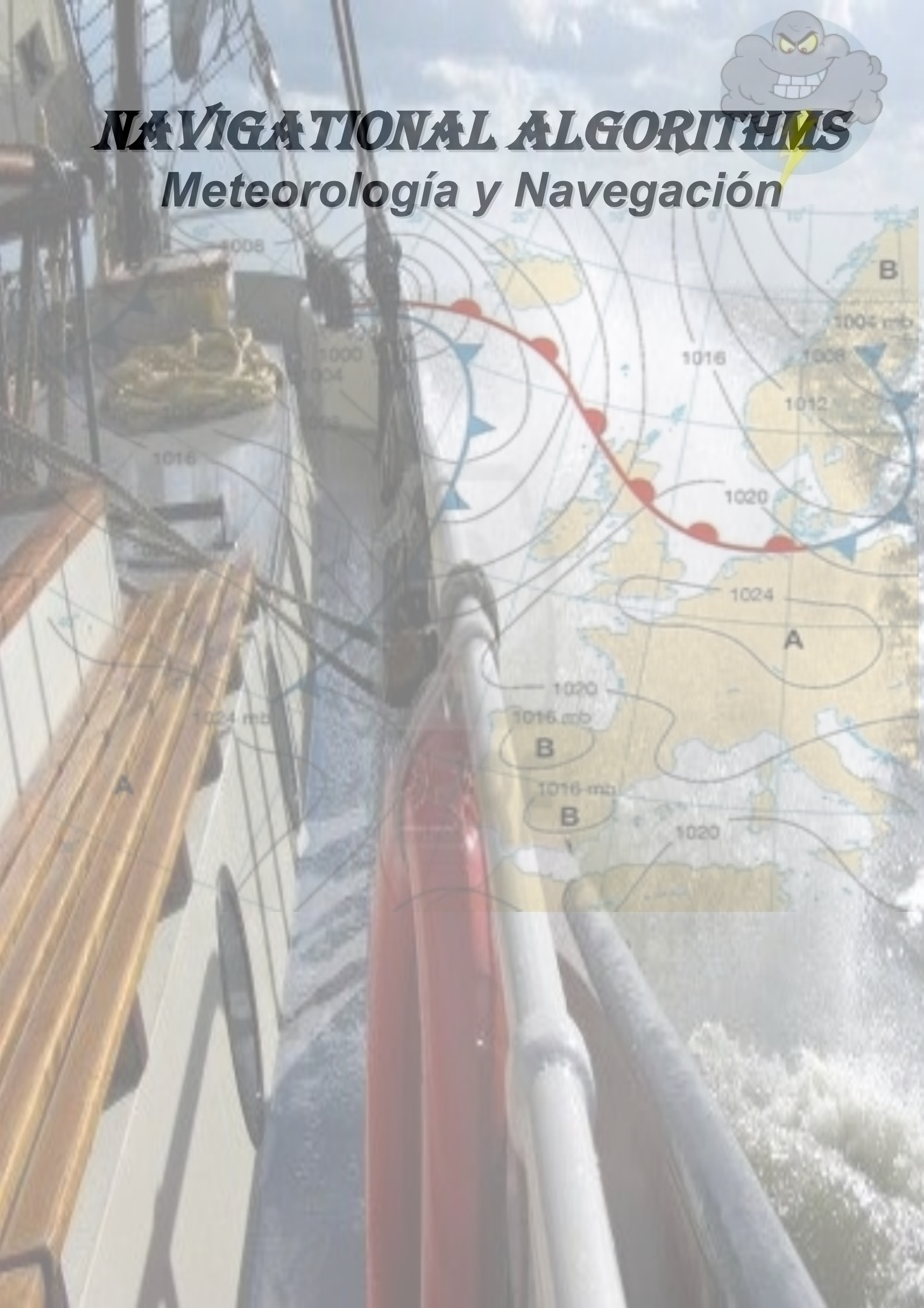
Onda de marea sinusoidal.

A1. Algoritmo



Hora en la que se produce una Sonda determinada





NAVIGATIONAL ALGORITHMS

Meteorología y Navegación

La Meteorología es la ciencia que estudia el estado del tiempo, el medio atmosférico, los fenómenos allí producidos y las leyes que lo rigen. En náutica cobra una importancia vital, ya que el tiempo afecta a la navegación y a su seguridad.

San Sebastián – Donostia
43º 19'N 002ºW

Índice

Variables Meteorológicas

	Variable	Instrumento de medida	Unidades
T	Temperatura del aire	Termómetro	ºC
P	Presión atmosférica	Barómetro	mb, hPa
H	Humedad relativa del aire	Higrometro, Psicrometro	%
D	Densidad del aire	Densímetro	kg/m3
	Precipitaciones	Pluviometro	l/m2 (mm)
	Vientos	Anemómetro	B, m/s, Kt

Escala Barométrica			
mmHg	**mb**		
790	1053	Muy seco	
780	1040	Buen tiempo fijo	
770	1027	Buen tiempo	*Anticiclón*
760	1013	Variable	*P media a 15 ºC*
750	1000	Lluvia y/o viento	*Borrasca*
740	987	Gran lluvia	
730	973	Tempestad o tormenta	

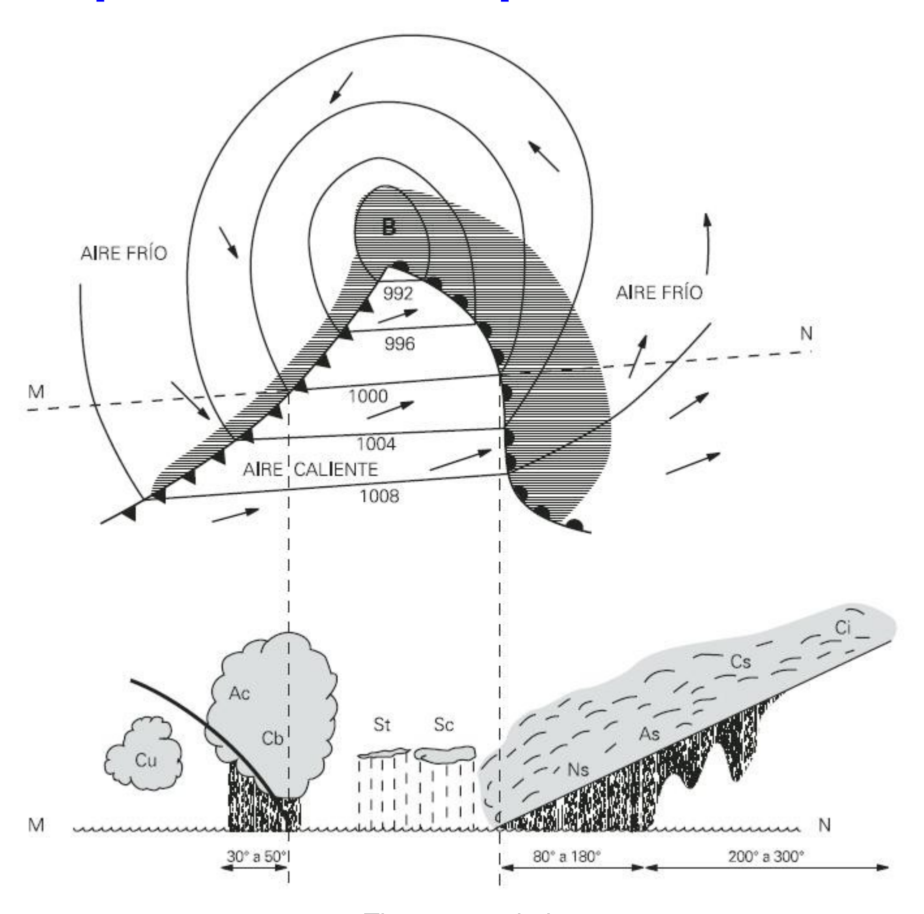
Escala Higrométrica	
Seco	0% - 50%
Normal	50% - 70%
Húmedo	70% - 99%
Punto de rocío	100%

Previsión

	Higrómetro	Barómetro	Termómetro
Mejoría	60% a 30%	En alza: Buen tiempo estable	En alza
Empeoramiento	60% a 100%	En baja: lluvia	En baja
Tormenta	> 80%	Descenso rápido de P	Descenso rápido de T

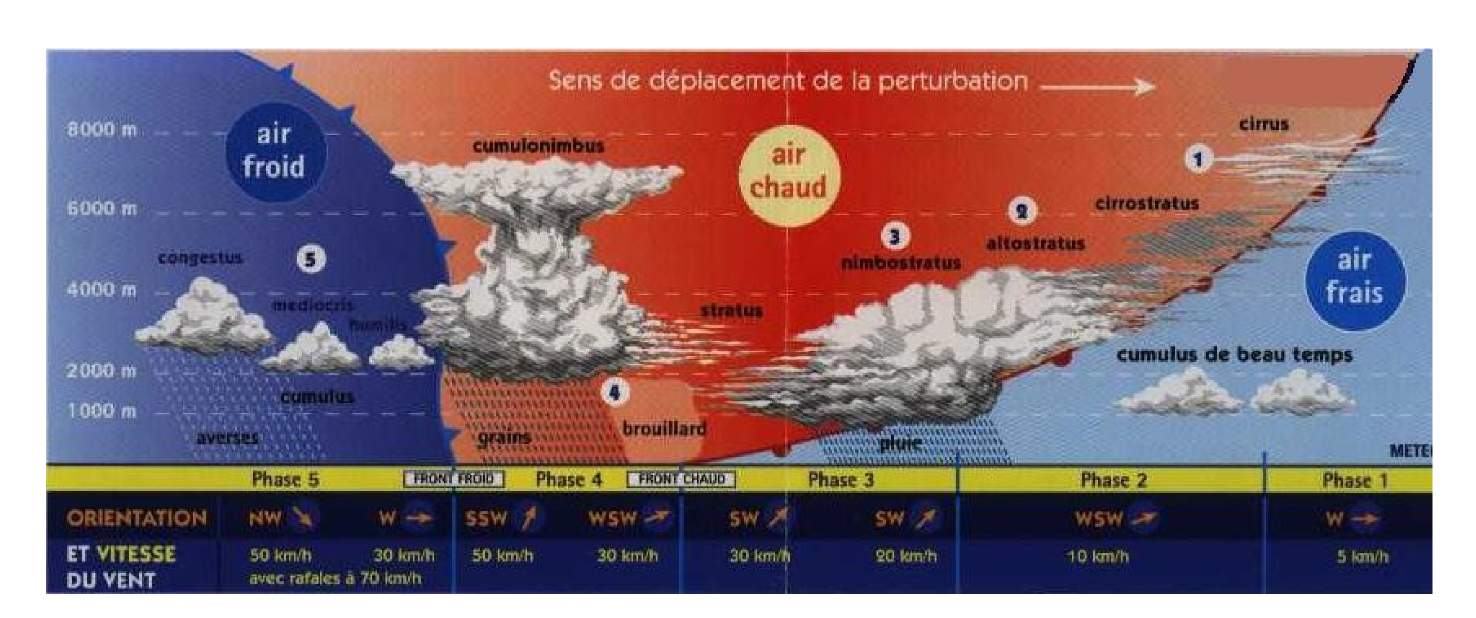
Reglas de Gachons
Se representan las curvas de presión y temperatura. • Si se acercan indica mal tiempo. • Si se alejan indican buen tiempo. • Con ondulaciones duradero.

Tiempo asociado al paso de un frente



Tiempo asociado

Variable	**Frente Frío**	**Sector Cálido**	**Frente Caliente**	**Oclusión**
Presión	⬆⬆	oscilaciones a la baja	⬇	⬆⬆
Temperatura	⬇⬇	estable	⬆	estable
Viento	rola W a NW ↻ en HN	SSW - WSW	rola S a SW ↻ en HN	SW a W / NW
	5B a 6B	7B	3B a 6B	
Nubes	Cb - Ac - Cu	St - Sc	Ci - Cs - As - Ns	St - Ns / Cb - Cu
Humedad Relativa	⬇⬇	⬆⬆	⬆	⬇
Precipitaciones	Chubascos / granizo	Llovizna / Niebla	Lluvia	Lluvia
Visibilidad	buena	mala	disminuye	mejorando

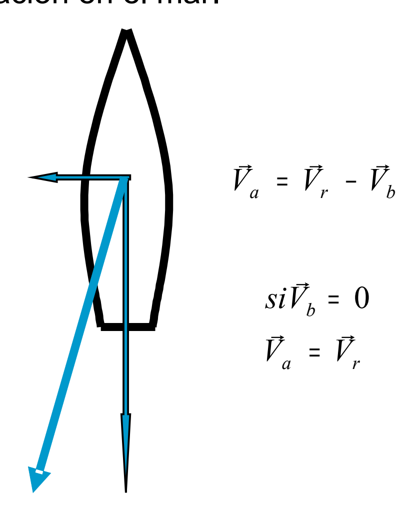


Viento real y viento aparente

Un observador estacionario aprecia y puede medir el viento que realmente esta soplando.

En cambio, si el observador esta en movimiento, el viento que percibe es el relativo a su velocidad. Recibe el nombre de *viento aparente*, y es la composición del viento real y de su propio movimiento.

Se obtiene por resta vectorial del viento real y del vector velocidad del móvil, la embarcación en el mar.



Hay que tener en cuenta que el viento se denomina según la dirección de donde sopla, por lo tanto el sentido de su vector asociado será el opuesto: R = dirección viento ±180º

A bordo la dirección del viento aparente se mide con la veleta y su intensidad con el anemómetro.

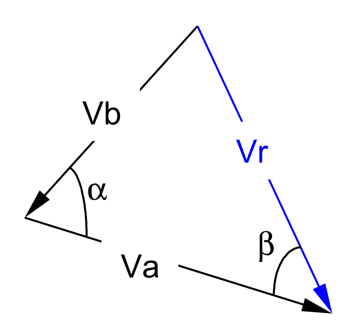
El problema se puede resolver gráficamente en la rosa de maniobra. A continuación se presentan dos métodos analíticos.

Las variables utilizadas son:

vector	velocidad	dirección
Viento real	Vr	Rr
Viento aparente	Va	Ra
Velocidad de la embarcación	Vb	Rb

La velocidad se mide en nudos, y la dirección en grados, como un rumbo en el sistema circular.

Cálculo trigonométrico

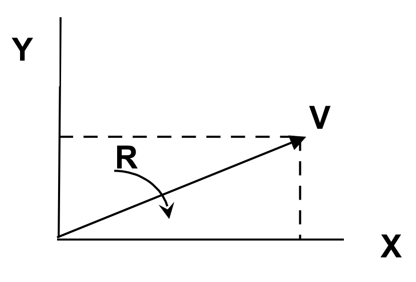


Triángulo de velocidades.

$$V_r^2 = V_a^2 + V_b^2 - 2V_a V_b \cos\alpha$$

$$\frac{V_b}{\sin\beta} = \frac{V_r}{\sin\alpha}$$

Cálculo Vectorial



Coordenadas cartesianas del vector velocidad.

$$\vec{V}_r = \vec{V}_a + \vec{V}_b$$

$$\begin{bmatrix} V_{rx} \\ V_{ry} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a \sin R_a \\ V_a \cos R_a \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_b \sin R_b \\ V_b \cos R_b \end{bmatrix}$$

El viento real se obtiene pasado las coordenadas cartesianas a polares, con la particularidad de que el rumbo se mide desde en norte, no desde el eje de abcisas:

$$V_r = \sqrt{V_{rx}^2 + V_{ry}^2}$$

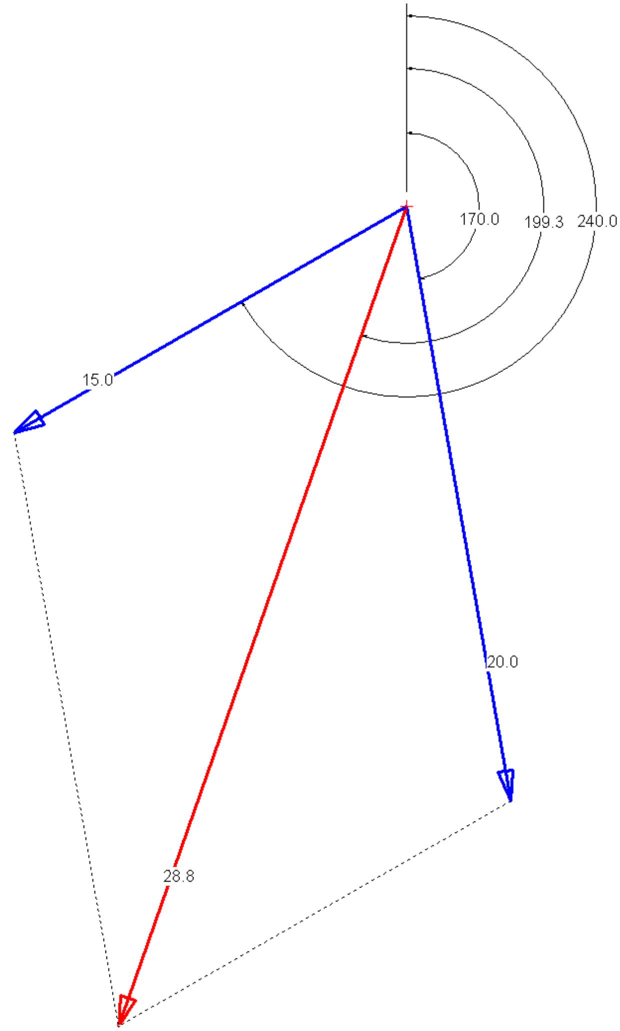
$$R_r = \operatorname{atan} \frac{V_{rx}}{V_{ry}}$$

Análogamente se podría obtener el viento aparente conocido el real.

Ejemplos

Navegando a un rumbo verdadero de 240º y con una velocidad de 15 nudos, se aprecia un viento proveniente del N10W con una intensidad de 20 nudos.
¿Cuál es el viento real?

Solución:



Vrx = 20*SIN(170) + 15*SIN(240) = -9.517418
Vry = 20*COS(170) + 15*COS(240) = -27.196155

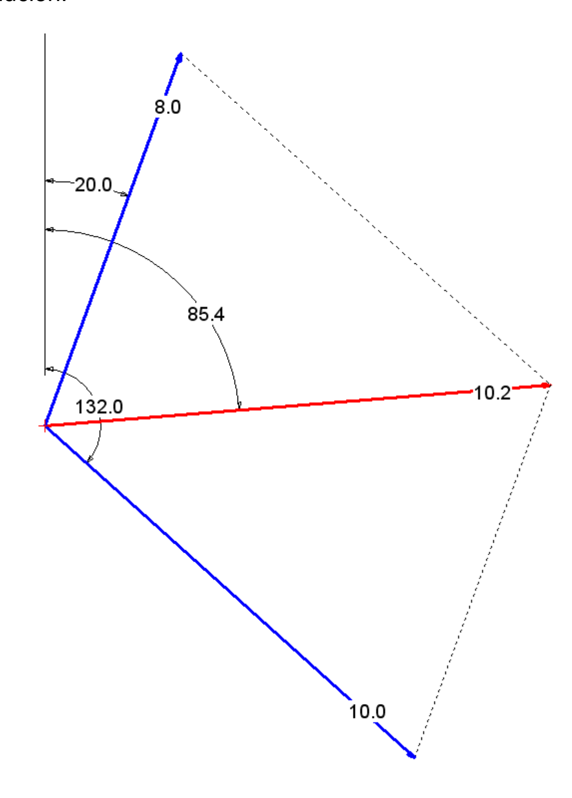
Vr = 28.8 nudos

Rr = 199.287725

Viento real: 19.3º

Calcular el viento real cuando se navega a un rumbo verdadero de 20º y la corredera marca una velocidad de 8 nudos. El anemómetro marca 10 nudos, y la dirección medida a bordo para el viento es de 312º.

Solución:



Vb = 8 kt
Rb = 20º

Va = 10 kt
Ra = 312-180 = 132º

Vrx = Va*SIN(Ra) + Vb*SIN(Rb) = 10.167609
Vry = Va *COS(Ra) + Vb *COS(Rb) = 0.826235

Vr = 10.2 kt

Rr = 85.4º

Viento real: 265.4º

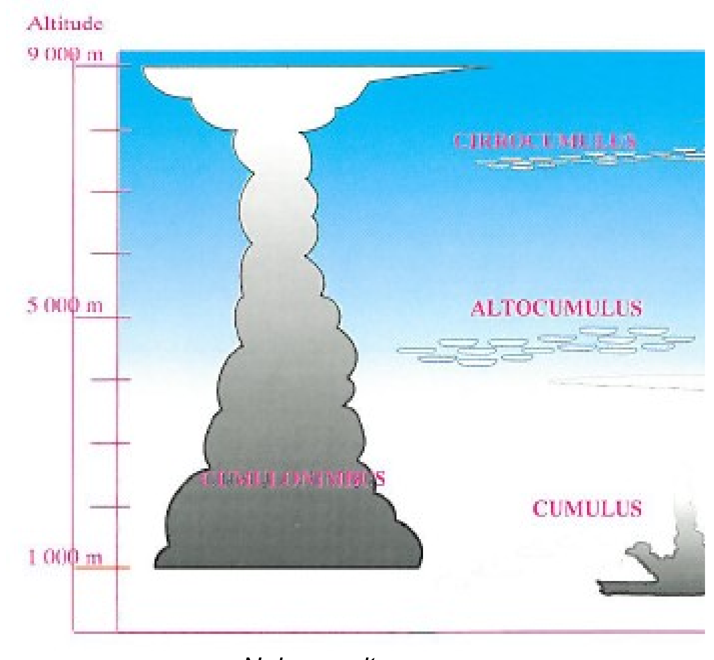
Nubes

Clasificación por su altura

	Nubes Altas	
1	Cirros	**Ci**
2	Cirrocumulos	**Cc**
3	Cirroestratos	**Cs**
	Nubes Medias	
4	Altocumulos	**Ac**
5	Nimboestratos	**Ns**
6	Altoestratos	**As**
	Nubes Bajas	
7	Estratocumulos	**Sc**
8	Estratos	**St**
9	Cumulos	**Cu**
10	Cumulonimbos	**Cb**

Clasificación por su proceso de formación

- orográficas
- de turbulencia
- convectivas
- de advección
- frontales



Nubes y altura.

Nieblas

Clasificación por su proceso de formación

de Evaporación

- Nieblas de vapor
- Nieblas frontales

de Enfriamiento

- Nieblas de advección
- Nieblas de radiación
- Nieblas orográficas
- Nieblas de inversión

de Mezcla

- Nieblas de mezcla

Clave MAFOR

MAFOR 1GDFm Wm

Cifra Cifra de la clave

G = 5, período de predicción de 18 horas

G G = 6, período de predicción de 24 horas

D Dirección desde donde sopla el viento en superficie

F_m Fuerza Beaufort del viento en superficie

W_m Tiempo previsto

Cifra	D	F_m	W_m
0	Calma	0 - 3	Visibilidad superior a 3 millas náuticas, (5 km)
1	NE	4	Riesgos de acumulación de hielo sobre las superestructuras Temperatura del aire entre 0 y -5° C
2	E	5	Gran riesgo de acumulación de hielo sobre las superestructuras Temperatura del aire inferior a -5° C
3	SE	6	Bruma Visibilidad de 5/8 a 3 millas náuticas (de 1 a 5 km.)
4	S	7	Niebla Visibilidad inferior a 5/8 millas náuticas (1 km)
5	SW	8	Llovizna
6	W	9	Lluvia
7	NW	10	Nieve o lluvia y nieve
8	N	11	Chubascos de viento, con o sin aguacero
9	Variable	12	Tormentas

Escalas Meteorológicas

Beaufort- La fuerza del Viento

LA FUERZA DEL VIENTO EN LA ESCALA BEAUFORT			
Grado [Bf]	**Denominación**	**Velocidad [nudos]**	**Estado de la mar**
0	Calma	<1	Mar llana como un espejo
1	Ventolina	1-3	Mar rizada. Pequeña ondulación
2	Flojito (brisa muy débil)	4-6	Pequeñas olas cortas. Mar rizada
3	Flojo (brisa débil)	7-10	Las olas empiezan a romper. Mar rizada
4	Bonacible (brisa moderada)	11-16	Olas bajas, algo largas. Marejadilla
5	Fresquito (brisa fresca)	17-21	Olas largas. Algunos rociones. Marejada
6	Fresco (brisa fuerte)	22-27	Grandes olas que rompen. Crestas blancas. Peligro para embarcaciones menores. Mar gruesa
7	Frescachón (viento fuerte)	28-33	Espuma longitudinal por el viento. Mar muy gruesa
8	Temporal (viento duro)	34-40	Olas altas que rompen. Espuma en bandas. Mar arbolada
9	Temporal fuerte (muy duro)	41-47	Olas muy gruesas. El mar ruge. Mala visibilidad por rociones y espuma
10	Temporal duro (temporal)	48-55	Olas muy gruesas. Superficie del mar blanca. El mar ruge intensamente. Espuma en el aire
11	Temporal muy duro (borrasca)	56-63	Olas muy grandes. Mar blanca. Navegación imposible
12	Temporal huracanado (huracán)	> 64	Aire lleno de espuma y de rociones. Visibilidad casi nula

Douglas - El estado de la mar

ESCALA DOUGLAS DEL ESTADO DE LA MAR				
Grado	Denominación	Altura [m]	Aspecto del mar	Escala Beaufort
0	Calma	0	Mar plana	0
1	Rizada	0-0.2	Rizada	1-2
2	Marejadilla	0.2-0.5	Pequeñas olas, algunas crestas rompen	3
3	Marejada	0.5-1.25	Pequeñas olas que rompen	4
4	Fuerte marejada	1.25-2.5	Olas alargadas	5
5	Gruesa	2.5-4	Grandes olas, espuma en las crestas	6
6	Muy gruesa	4-6	El mar empieza a amontonarse y el viento arrastra la espuma blanca de las crestas	7
7	Arbolada	6-9	Olas altas; bandas de espuma paralelas al viento, las olas rompen, mala visibilidad por los rociones	8-9
8	Montañosa	9-14	Olas muy altas con largas crestas que rompen brusca y pesadamente; espuma densa en dirección al viento; superficie del mar casi blanca	10-11
9	Enorme	>14	El aire se llena de espuma y rociones; mar blanca; visibilidad casi nula	12

Saffir Simpson – Huracanes

La Escala Saffir-Simpson para Huracanes						
Categoría	Daños	Viento kt	Viento km/h	Efectos en edificios, del oleaje e inundaciones	P_{min} mb	Oleaje m
1	mínimos	64 -83	118 -153	Daños principalmente a árboles, arbustos y casas móviles que no hayan sido previamente aseguradas. Daños ligeros a otras estructuras. Destrucción parcial o total de algunos letreros y anuncios pobremente instalados. Caminos y carreteras en costas bajas inundadas; daños menores a los muelles y atracaderos. Las embarcaciones menores rompen sus amarres en áreas expuestas	>= 980	1.2 - 1.7
2	moderados	83 - 96	154 - 177	Daños considerables a árboles y arbustos, algunos son derribados. Grandes daños a casas móviles en áreas expuestas. Extensos daños a letreros y anuncios. Destrucción parcial de algunos techos, puertas y ventanas. Pocos daños a estructuras y edificios. Carreteras y caminos inundados cerca de las costas. Las rutas de escape en terrenos bajos se interrumpen 2 a 4 horas antes de la llegada del centro del huracán. Daños considerables en la vegetación. Las marinas se inundan. Las embarcaciones menores rompen amarras en áreas abiertas. Se requiere la evacuación de residentes en terrenos bajos en áreas costeras.	965 - 979	1.7 - 2.6
3	extensos	96 - 113	178 - 209	Muchas ramas son arrancadas de los árboles. Grandes árboles derribados. Anuncios y letreros que no estén solidamente instalados son llevados por el viento. Algunos daños en techos de edificios, puertas y ventanas. Algunos daños en estructuras de edificios pequeños. Casas móviles destruidas. El fuerte oleaje inunda extensas áreas de zonas costeras con amplia destrucción de muchas edificaciones que se encuentren cerca del litoral. Las grandes estructuras cerca de las costas son seriamente dañadas por el embate de las olas y escombros flotantes. Las vías de escape en terrenos bajos se interrumpen 3 a 5 horas antes de la llegada del centro del huracán debido a la subida de las aguas. Los terrenos llanos de 1.5 m o menos sobre el nivel del mar se inundan a más de 12 km tierra adentro. Posiblemente se requiera la evacuación de todos los residentes en los terrenos bajos a lo largo de las zonas costeras	945 - 964	2.6 - 3.8
4	extremos	114 - 135	210 - 249	Arboles y arbustos son arrasados por el viento. Anuncios y letreros son arrancados o destruidos. Hay extensos daños en techos, puertas y ventanas. Se produce colapso total de techos y algunas paredes en muchas residencias pequeñas. La mayoría de las casas móviles son destruidas o seriamente dañadas. Los terrenos llanos de 3 m o menos sobre el nivel del mar se inundan hasta 10 km tierra adentro. Hay grandes daños en los pisos bajos de estructuras cerca de las costas debido al influjo de las inundaciones y el batir de las olas llevando escombros. Las rutas de escape se interrumpen por la subida de las aguas 3 a 5 horas antes de la llegada del centro del huracán. Posiblemente se requiera una evacuación masiva de todos los residentes dentro de un área de unos 500 m de la costa y también de terrenos bajos hasta 3 km tierra adentro.	920 - 944	3.8 - 5.5
5	catastróficos	> 135	> 250	Arboles y arbustos son totalmente arrasados por el viento con muchos árboles grandes arrancados de raíz. Daños de gran consideración en los techos de los edificios. Los anuncios y letreros arrancados, destruidos y llevados por el viento a considerable distancia, ocasionando a su vez más destrucción. Daños muy severos y extensos en ventanas y puertas. Hay colapso total de muchas residencias y edificios industriales. Se produce una gran destrucción de cristales en puertas y ventanas que no hayan sido previamente protegidos. Muchas casas y edificios pequeños son derribados o arrasados. Destrucción masiva de casas móviles. Ocurren daños considerables en los pisos bajos de todas las estructuras a menos de 5 m sobre el nivel del mar hasta mas de 500 m tierra adentro. Las rutas de escape en terrenos bajos son cortadas por la subida de las aguas entre 3 a 5 horas antes de la llegada del centro del huracán. Posiblemente se requiera una evacuación masiva de todos los residentes en terrenos bajos dentro de un área de 10 a 20 km de las costas. Situación caótica	< 920	> 5.5

Nota:
- La presión central mínima para categoría es una estimación
- La altura de las olas es orientativa; depende de la batimetría del fondo costero, y de la orografía y tipo de construcciones en la costa.

Fuente: http://www.nhc.noaa.gov/index.shtml

Fujita Pearson – Tornados



Fujita-Pearson Tornado Intensity Scale

Scale		Tornado	Wind Speed kt	mph	km/h	Possible Damage
F0	Weak	Gale	35-63	40-72	64-116	Minor roof, tree and sign damage
F1	Weak	Moderate	64-97	73-112	117-180	Roofs damaged. Barns torn apart. Weak trailers flipped and torn apart. Cars thrown from roads. Sheet metal buildings destroyed.
F2	Strong	Significant	98-136	113-157	181-253	Strongly built schools, homes and businesses unroofed. Concrete block buildings, weak homes and schools destroyed. Trailers disintegrated.
F3	Strong	Severe	137-179	158-206	254-332	Strongly built schools, homes and businesses have outside walls blown away. Weaker homes completely swept away.
F4	Violent	Devastating	180-226	207-260	333-419	Strongly built homes have all interior and exterior walls blown away. Cars thrown 300 yards or more in the air.
F5	Violent	Incredible	227-277	261-318	420-512	Strongly built homes completely blown away.

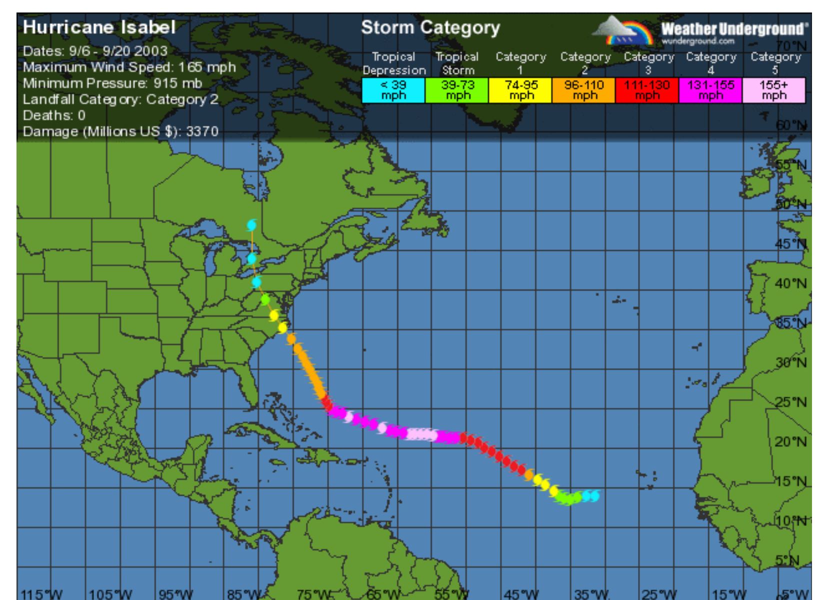
Source: Weather Research Center in Houston, Texas

Ciclones Tropicales



Huracán Elena

Navegar por los mares tropicales siempre tiene una fuerte connotación aventurera fomentada por las historias de piratas y galeones con tesoros, por sus islas de palmeras, y por el turquesa de sus aguas. Pero también tiene sus peligros, arrecifes y bajíos mal señalados en las cartas náuticas, y los huracanes. Personalmente el único contacto que he tenido con un ciclón tropical fue en Septiembre de 2003 cuando navegábamos de La Martinica a los Tobago cays, y el huracán Isabel estaba al nordeste de nuestra posición, todos los días mirábamos dos veces en la web del *National Hurricane Center* su posición y su posible trayectoria, por suerte todo quedo en una bonita experiencia.



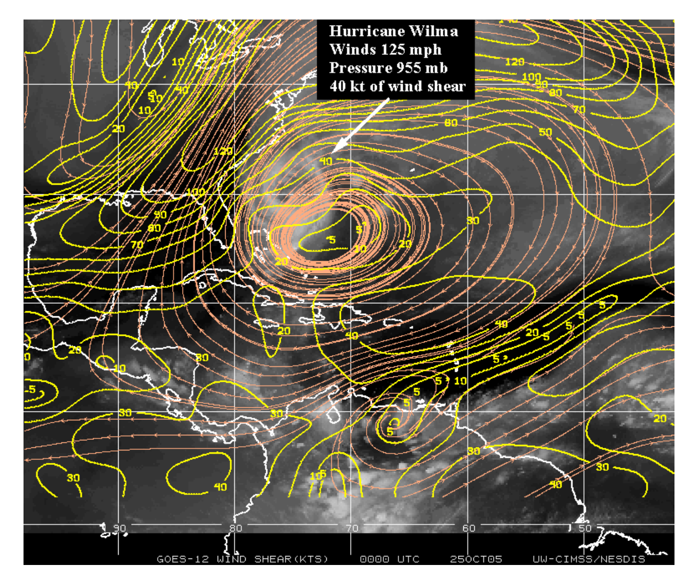
Ciclones Tropicales

Definición

Un ciclón tropical es un potente sistema de tormentas alrededor de un centro de bajas presiones, formado en el mar cerca del ecuador, con vientos de velocidades superiores a los 100 km/h. Forman parte importante del sistema de circulación atmosférica, que provoca el movimiento de calor de las regiones cercanas al ecuador hacia mayores latitudes.

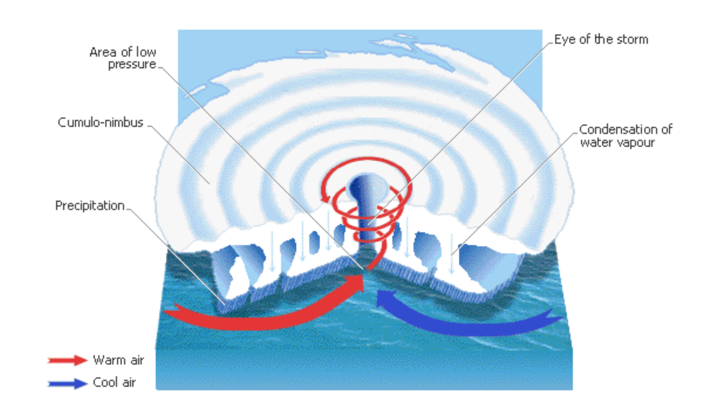


Huracán Isabel, categoría 5, 2003/09/12



Huracán Wilma - Mapa de isobaras

Debido al aumento del gradiente horizontal de presión, el viento va girando hacia el centro, a medida que aumenta la velocidad va disminuyendo al ángulo del viento con las isobaras, llegando a soplar paralelo a ellas.

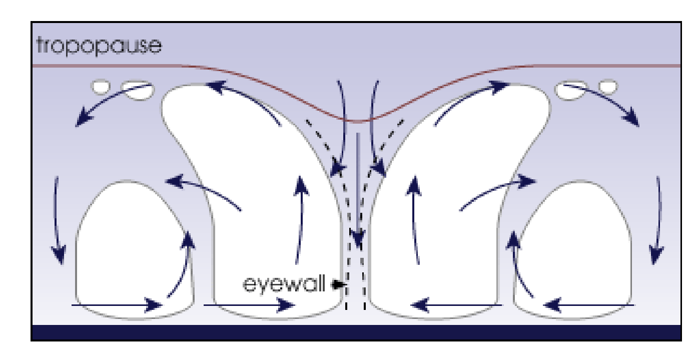


Corte de un Huracán

Estructura

Están compuestos por una masa de aire caliente homogénea. Presentan un centro u *ojo* del huracán, en donde reina la calma y no hay nubosidad y unas *bandas de lluvia* que salen en espiral del centro. El diámetro del ojo puede variar de 2 a 230 mn, y el del ciclón 120 a 360 mn.

Presenta una configuración ciclónica casi circular de isobaras, con un mínimo de presión en el ojo. La intensidad del viento crece a medida que decrece la distancia al centro al aumentar el gradiente de presión, en las *paredes* del ojo se dan los vientos más fuertes, y el paso a la zona de calma del vórtice es casi instantáneo.



Estructura de un Huracán

Diferencias entre los ciclones tropicales y las borrascas extratropicales

Los ciclones tropicales y las borrascas ondulatorias responden a un mismo sistema de presión, ambos sistemas consisten en un centro de bajas presiones, con vientos circulando en el sentido contrario a las agujas del reloj en el hemisferio norte, y en el mismo sentido en el hemisferio sur, aunque presentan grandes diferencias:

- El diámetro de los ciclones tropicales es sensiblemente menor que el de las borrascas
- Los ciclones tienen una estructura mucho más simétrica, casi circular, que las borrascas, mientras que estas se aproximan más a la elíptica.
- Los ciclones carecen de frentes
- La energía de las borrascas deriva del contraste térmico entre sus dos masas de aire mientras que en los ciclones se debe fundamentalmente al calor latente de evaporación liberado por el aire húmedo al condensarse.
- Los ciclones son mucho más violentos que las borrascas.
- La mínima presión del ciclón puede alcanzar valores inferiores a los 930 mb, mientras que en las borrascas raramente alcanzan los 950 mb.

Clasificación

Según la velocidad de sus vientos y grado de desarrollo, las perturbaciones ciclónicas tropicales se clasifican en:

	kt
Onda tropical	la circulación ciclónica es débil
Depresión tropical	< 34
Tormenta tropical	< 47
Ciclón tropical, Huracán, Tifón	> 65

Un huracán típico comienza como una onda tropical que va desarrollándose y creciendo, y si las condiciones son favorables, se convierte en depresión tropical, tormenta tropical, y finalmente en ciclón tropical.

Ciclo de vida

Se distinguen 4 fases: formación, desarrollo, madurez y vejez o disolución.

Formación

Las borrascas o depresiones extratropicales se forman en latitudes medias donde aparecen ondulaciones del frente polar.

Los ciclones se forman en latitudes bajas próximas a la **ITCZ** (*Zona de convergencia intertropical*).

Las condiciones necesarias para la **ciclogénesis tropical** en el área de la ITCZ son los siguientes:

- Adecuada fuente de energía en la superficie. T Agua del mar > 26 ºC hasta por lo menos de 50 m de profundidad.
- Calor y humedad. Gran evaporación.
- Baja cizalladura vertical del viento.
- Perturbaciones preexistentes
- Fuerza de Coriolis, debida a la rotación de la Tierra, (se hace nula en el ecuador).
- Corriente troposférica.

Desarrollo

La depresión se ahonda y el viento alrededor de la baja y su área de influencia aumenta progresivamente. Las condiciones necesarias para ello son:

- Moverse o permanecer sobre zonas cálidas
- Moverse o permanecer sobre el agua
- Que aire cálido se traslade hacia el vértice
- Un fuerte anticiclón en altura para expulsar el aire de su interior.

Madurez

La presión se estabiliza alrededor de 940 mb, el viento es huracanado. Su diámetro puede alcanzar los 700 km, y su altura los 15.000 m. La evaporación en la superficie del agua es máxima.

Vejez

En su avance alcanza latitudes mayores, desciende la temperatura de las aguas, o se adentra en tierra, donde empieza a escasear el combustible; le falta el vapor de agua procedente del aire cálido y húmedo, y acaba perdiendo fuerza y disipándose.

Trayectoria

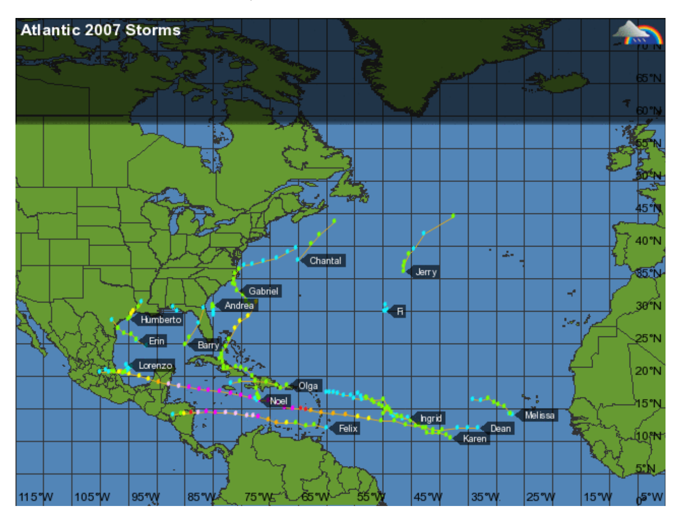
Las trayectorias tienen forma parabólica.

En el hemisferio norte:

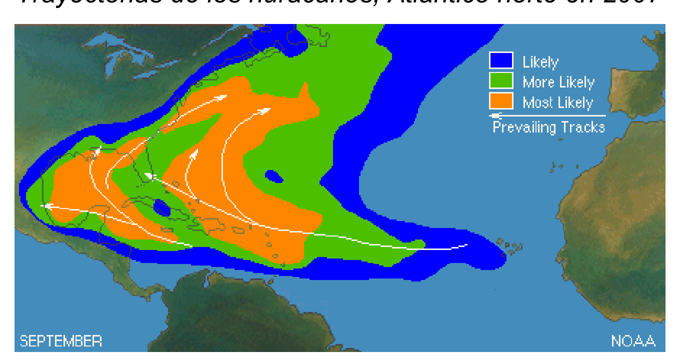
- Inicialmente se trasladan hacia el W casi paralelamente al ecuador.
- posteriormente se abren de la línea del ecuador hacia el WNW.
- Finalmente se recurvan hacia el NW, para luego hacerlo hacia el N y NE en latitudes entre 30º y 40º N.

Nombre y clasificación	Fechas	Viento Max	Presión Min
Tropical Storm Andrea	05/09-05/11	45	1003
Tropical Storm Barry	06/02-06/02	50	997
Tropical Storm Chantal	07/31-08/01	50	994
Hurricane Dean	08/13-08/23	165	906
Tropical Storm Erin	08/15-08/16	40	1003
Hurricane Felix	09/01-09/05	165	929
Tropical Storm Gabriel	09/08-09/11	50	1004
Tropical Storm Ingrid	09/12-09/17	45	1002
Hurricane Humberto	09/12-09/13	85	986
Tropical Depression Te	09/21-09/22	35	1005
Tropical Storm Jerry	09/23-09/25	45	1000
Tropical Storm Karen	09/25-09/29	70	990
Hurricane Lorenzo	09/26-09/28	80	990
Tropical Storm Melissa	09/28-09/30	45	1003
Tropical Depression Fi	10/12-10/12	35	1011
Hurricane Noel	10/28-11/02	80	980
Tropical Storm Olga	12/11-12/12	60	1003

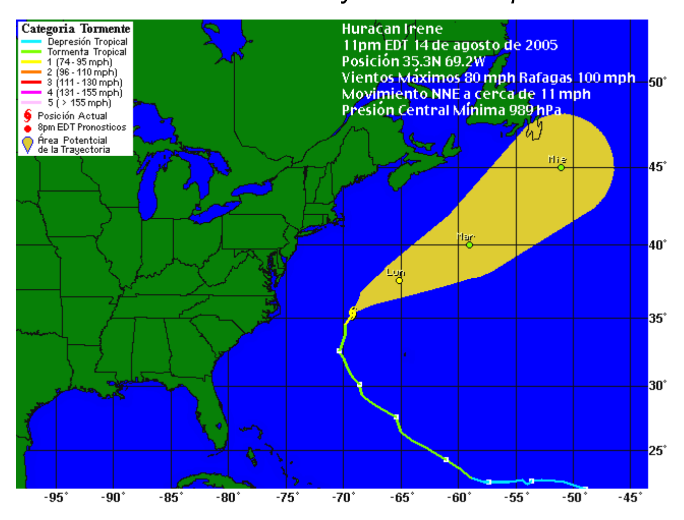
Atlántico norte, estación de huracanes 2007



Trayectorias de los huracanes, Atlántico norte en 2007

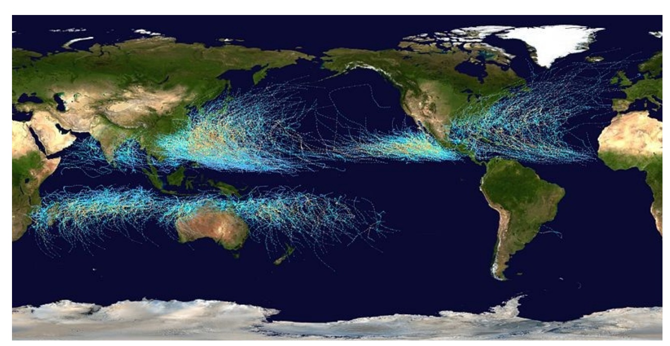


Probabilidad de una trayectoria en Septiembre



Trayectoria del huracán Irene

Regiones de formación



Ciclones tropicales entre los años 1985 y 2005.

ITCZ

La zona de convergencia intertropical, ITCZ, es un cinturón de bajas presiones existente en la región donde convergen los alisios del hemisferio norte y del sur.

Su posición varía con la declinación del Sol. En primavera y verano se mueve hacia latitudes más septentrionales, y en otoño e invierno hacia latitudes más meridionales. En el océano Atlántico norte se localiza entre los 5ºN y los 10ºN, durante los meses de Abril a Septiembre. En el Atlántico Sur no hay ciclones ya que la ITCZ esta siempre por encima del ecuador, *salvo raras excepciones [9]*.

Geográficamente se localizan en las siguientes zonas:

- Huracanes - Entre el Caribe y la costa oriental de Africa.
- Tifones - Al SW del Pacífico Norte, entre las islas Marshall y Filipinas.
- Ciclones de Madagascar - Indico meridional y oriental.
- Pacífico Sur al nordeste de Australia
- Mar de Arabia
- Costa centroamericana del Pacífico.

Las estaciones más frecuentes son aquellas en la que la ITCZ está más apartada del ecuador. Primavera y otoño para el Indico y finales de verano y principios de otoño para las demás regiones.

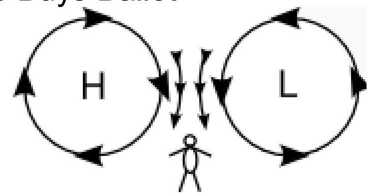
El *National Hurricane Center* da comienzo a la estación de ciclones tropicales el 15 de Mayo para el Pacifico Este, y el 1 de Junio para el Atlántico, finalizando el 30 de Noviembre.

Huracanes y Navegación

Aparte de los sistemas más convencionales para recibir automáticamente informes meteorológicos, como INMARSAT C y NAVTEX, si se dispone de una conexión a Internet a bordo, es posible consultar el estado del tiempo severo y tropical en varias Webs oficiales, y recibir avisos de temporal o huracanes vía e-mail. En el caso de que ninguna información de este tipo este disponible, se pueden tomar decisiones acerca de la derrota a seguir en las proximidades de un huracán basadas en la observación del viento, la mar y la variación de la presión, y en una serie de reglas que a continuación se enuncian.

Posición relativa del vórtice

Reglas de Buys Ballot



En el hemisferio norte, de cara al viento, el centro de altas presiones (H), quedan a la izquierda y el de bajas (L), a la derecha.

Proa al viento real, el ojo del huracán:

- En el hemisferio Norte se sitúa de 8/4 a 12/4 a la derecha
- En el hemisferio Sur se sitúa de 8/4 a 12/4 a la izquierda

P (mb)		Demora vórtice
1013	1003	12/4 = 135º
1003	993	10/4 = 112.5º
993	…	8/4 = 90º

Semicírculos peligroso y manejable

La trayectoria del ciclón divide a este en dos semicírculos:

- Derecho
- Izquierdo

La línea perpendicular a su trayectoria por el centro del ciclón lo divide en dos cuadrantes:

- Anterior o delantero
- Posterior o trasero

El semicírculo peligroso es aquel en el cual la velocidad de traslación del ciclón se suma a la velocidad de los vientos. El manejable es aquel en el cual se resta.

En el hemisferio norte,:

- Derecho: peligroso
- Izquierdo: manejable

Siendo el más peligroso el cuadrante derecho anterior.

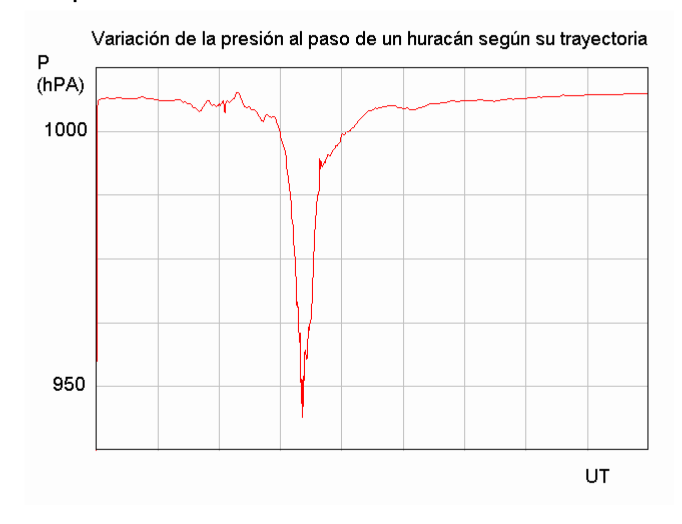
En el hemisferio sur es al revés, ya que el ciclón gira en sentido horario:

- Derecho: manejable
- Izquierdo: peligroso

Determinación del semicírculo en que se halla el barco

Reglas válidas para ambos hemisferios.

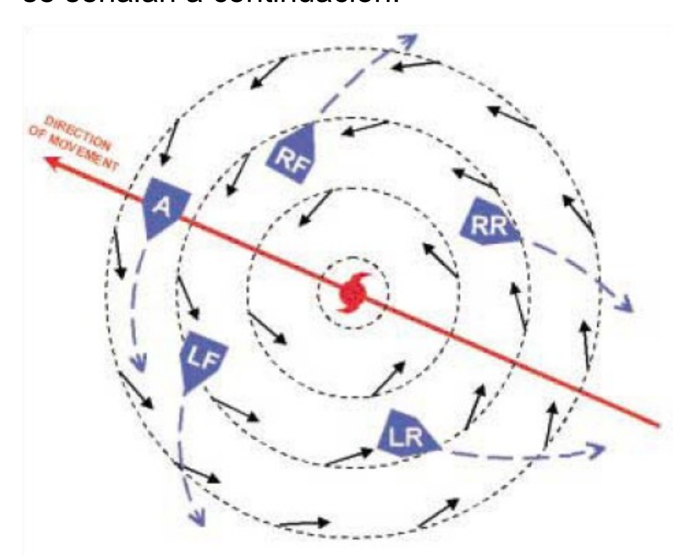
- Si el viento rola en el sentido de las agujas del reloj, estaremos en el semicírculo derecho.
- Si el viento rola en el sentido contrario de las agujas del reloj, estaremos en el semicírculo izquierdo.
- Si el viento mantiene su dirección estaremos en la trayectoria del ojo del huracán.
- Si la presión disminuye y aumenta el viento estaremos en el cuadrante anterior.
- Si la presión aumenta y disminuye el viento, estaremos en el cuadrante posterior.



Forma de maniobrar a los ciclones

Cuando un buque es sorprendido por un ciclón, las maniobras a realizar según su

localización relativa respecto a la dirección del movimiento del ciclón tropical, son las que se señalan a continuación:

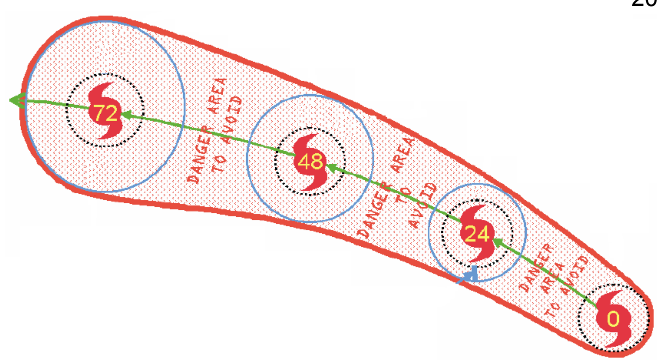


Maniobra de evasión. Hemisferio norte

Posición Buque	Maniobra
Delante	Poner el viento a 160º de la proa por estribor, haciendo el mejor rumbo y velocidad para entrar en el semicírculo izquierdo.
Semicírculo derecho	Poner el viento a 45º de la proa por estribor, intentando hacer el mejor rumbo y velocidad para alejarse del ciclón. El viento y la mar pueden reducir drásticamente la marcha del buque.
Semicírculo izquierdo	Poner el viento a 135º de la proa por estribor, haciendo el mejor rumbo y velocidad para incrementar la separación entre el buque y el ciclón.
Detrás	Mantener el mejor rumbo y velocidad para incrementar la separación entre el buque y el ciclón.

Para un buque en las proximidades de un ciclón tropical en el Atlántico norte, basándose en las estadísticas de los diez últimos años, la **regla 1-2-3** propone que el área peligrosa a evitar sea la inscrita por las tangentes a las circunferencias de 0h, 24h, 48h, y 72h, cuyos radios son:

h	Radio
0	34 kt
24	34 kt + 100 mn
48	34 kt + 200 mn
72	34 kt + 300 mn



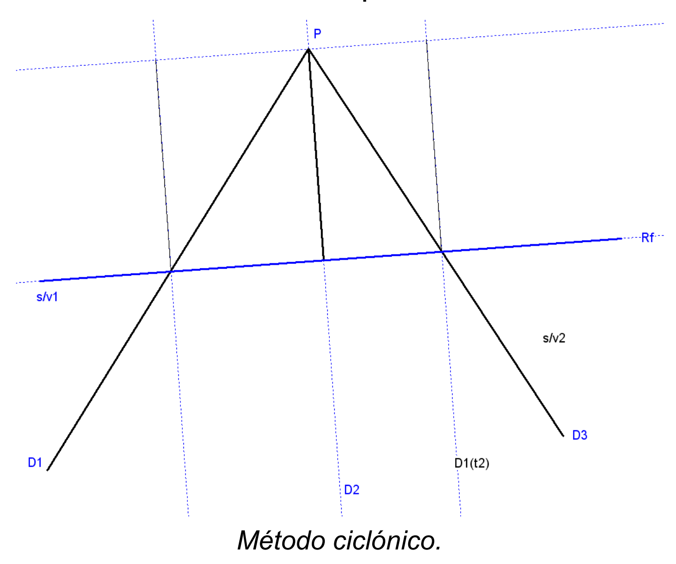
Regla 1-2-3, área peligrosa a evitar.

Posición, rumbo y velocidad del ojo del huracán

Empleando métodos utilizados en navegación costera y las reglas de Buys Ballot, es posible calcular con bastante exactitud la posición y movimiento del huracán.

Método ciclónico

Permite determinar el rumbo del huracán por medio de tres demoras no simultáneas al vórtice desde un mismo punto



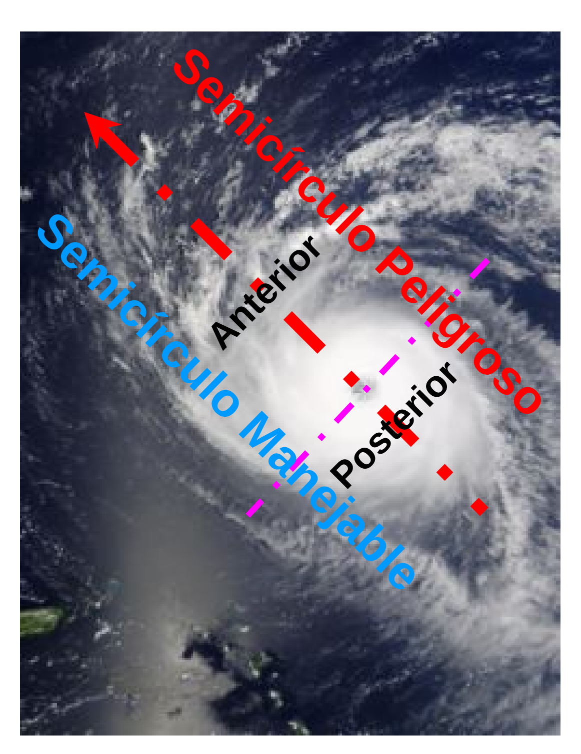
Método ciclónico.

Dos demoras simultáneas al vórtice desde dos puntos distintos

Si además otra embarcación transmite su demora es posible calcular también la posición del ojo en un instante determinado y su velocidad.

Ciclones Tropicales

Cuadrantes - Hemisferio N



Hemisferio sur: el S.C. peligroso es el izquierdo

Semicírculo en que se halla el buque - HN y HS

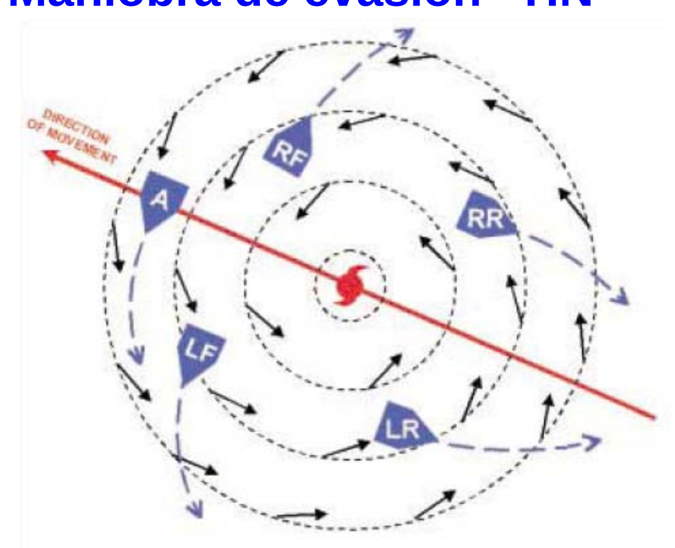
Semicírculo	Viento Rola	Viento Fuerza	Presión
Derecho	↻		
izquierdo	↺		
Trayectoria del vórtice	cte		
Anterior		⬆	⬇
Posterior		⬇	⬆

Posición relativa del vórtice

Proa al viento real, el ojo se sitúa:
- Hemisferio Norte a la derecha
- Hemisferio Sur a la izquierda

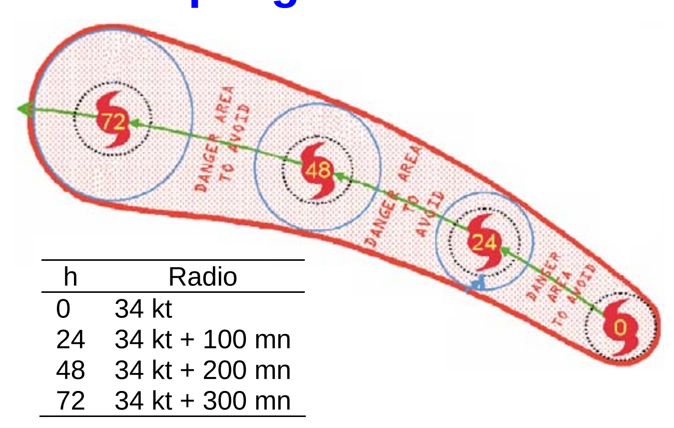
P (mb)		Demora vórtice
1013	1003	12/4 = 135º
1003	993	10/4 = 112.5º
993	…	8/4 = 90º

Maniobra de evasión - HN



Posición Buque	Maniobra
Delante	Poner el viento a 160º de la proa por estribor, haciendo el mejor rumbo y velocidad para entrar en el semicírculo izquierdo.
Semicírculo derecho	Poner el viento a 45º de la proa por estribor, intentando hacer el mejor rumbo y velocidad para alejarse del ciclón. El viento y la mar pueden reducir drásticamente la marcha del buque.
Semicírculo izquierdo	Poner el viento a 135º de la proa por estribor, haciendo el mejor rumbo y velocidad para incrementar la separación entre el buque y el ciclón.
Detrás	Mantener el mejor rumbo y velocidad para incrementar la separación entre el buque y el ciclón.

Area peligrosa a evitar



h	Radio
0	34 kt
24	34 kt + 100 mn
48	34 kt + 200 mn
72	34 kt + 300 mn

Posición, rumbo y velocidad del ojo del huracán

•***Método ciclónico*** - rumbo del huracán por tres demoras no simultáneas al vórtice desde un mismo punto.

•***Dos demoras simultáneas al vórtice desde dos puntos distintos*** - posición del ojo y velocidad.

Aviso de Huracán por e-mail

HURR DEAN Forecast/Advisory 14
000
WTNT24 KNHC 162031
TCMAT4
HURRICANE DEAN FORECAST/ADVISORY NUMBER 14
NWS TPC/NATIONAL HURRICANE CENTER MIAMI FL AL042007
2100 UTC THU AUG 16 2007

AT 500 PM AST...2100 UTC...THE GOVERNMENT OF FRANCE HAS ISSUED A HURRICANE WARNING FOR MARTINIQUE...GUADELOUPE AND ITS DEPENDENCIES A HURRICANE WARNING REMAINS IN EFFECT FOR THE ISLANDS OF DOMINICA AND ST. LUCIA. A HURRICANE WARNING MEANS THAT HURRICANE CONDITIONS ARE EXPECTED WITHIN THE WARNING AREA WITHIN THE NEXT 24 HOURS.
PREPARATIONS TO PROTECT LIFE AND PROPERTY SHOULD BE RUSHED TO COMPLETION.

A TROPICAL STORM WARNING REMAINS IN EFFECT FOR THE FOLLOWING ISLANDS OF THE LESSER ANTILLES... GRENADA AND ITS DEPENDENCIES...ST.
VINCENT AND THE GRENADINES...BARBADOS...SABA...ST. EUSTATIUS...
MONSERRAT...ANTIGUA...NEVIS...ST KITTS...BARBUDA AND ST. MAARTEN.
A TROPICAL STORM WARNING MEANS THAT TROPICAL STORM CONDITIONS ARE EXPECTED WITHIN THE WARNING AREA WITHIN THE NEXT 24 HOURS.

AT 500 PM AST...2100 UTC...A TROPICAL STORM WATCH HAS BEEN ISSUED FOR THE U.S. VIRGIN ISLANDS AND PUERTO RICO. A TROPICAL STORM WATCH MEANS THAT TROPICAL STORM CONDITIONS ARE POSSIBLE WITHIN THE WATCH AREA...GENERALLY WITHIN 36 HOURS.

INTERESTS ELSEWHERE IN THE LESSER ANTILLES...HISPANIOLA...JAMAICA AND EASTERN CUBA SHOULD MONITOR THE PROGRESS OF DEAN.

FOR STORM INFORMATION SPECIFIC TO YOUR AREA...PLEASE MONITOR PRODUCTS ISSUED BY YOUR LOCAL WEATHER OFFICE.

HURRICANE CENTER LOCATED NEAR 14.0N 56.5W AT 16/2100Z POSITION ACCURATE WITHIN 20 NM

PRESENT MOVEMENT TOWARD THE WEST OR 280 DEGREES AT 20 KT

ESTIMATED MINIMUM CENTRAL PRESSURE 979 MB EYE DIAMETER 10 NM MAX SUSTAINED WINDS 85 KT WITH GUSTS TO 100 KT.
64 KT....... 15NE 10SE 10SW 15NW.
50 KT....... 50NE 15SE 20SW 50NW.
34 KT.......120NE 75SE 60SW 130NW.
12 FT SEAS..300NE 90SE 60SW 150NW.
WINDS AND SEAS VARY GREATLY IN EACH QUADRANT. RADII IN NAUTICAL MILES ARE THE LARGEST RADII EXPECTED ANYWHERE IN THAT QUADRANT.

REPEAT...CENTER LOCATED NEAR 14.0N 56.5W AT 16/2100Z AT 16/1800Z CENTER WAS LOCATED NEAR 13.8N 55.5W

FORECAST VALID 17/0600Z 14.4N 59.7W
MAX WIND 90 KT...GUSTS 110 KT.
64 KT... 15NE 10SE 10SW 15NW.
50 KT... 50NE 15SE 15SW 50NW.
34 KT...120NE 75SE 60SW 130NW.

FORECAST VALID 17/1800Z 15.0N 63.5W
MAX WIND 95 KT...GUSTS 115 KT.
64 KT... 20NE 15SE 15SW 20NW.
50 KT... 50NE 20SE 20SW 50NW.
34 KT...120NE 90SE 75SW 125NW.

FORECAST VALID 18/0600Z 15.5N 67.0W
MAX WIND 100 KT...GUSTS 120 KT.
64 KT... 20NE 15SE 15SW 25NW.
50 KT... 50NE 30SE 30SW 50NW.
34 KT...125NE 90SE 75SW 125NW.

FORECAST VALID 18/1800Z 16.0N 70.5W
MAX WIND 110 KT...GUSTS 135 KT.
50 KT... 60NE 40SE 40SW 60NW.
34 KT...130NE 90SE 75SW 125NW.

FORECAST VALID 19/1800Z 17.5N 78.0W
MAX WIND 115 KT...GUSTS 140 KT.
50 KT... 60NE 40SE 40SW 60NW.
34 KT...140NE 90SE 90SW 140NW.

EXTENDED OUTLOOK. NOTE...ERRORS FOR TRACK HAVE AVERAGED NEAR 225 NM ON DAY 4 AND 300 NM ON DAY 5...AND FOR INTENSITY NEAR 20 KT EACH DAY

OUTLOOK VALID 20/1800Z 19.5N 84.5W
MAX WIND 120 KT...GUSTS 145 KT.

OUTLOOK VALID 21/1800Z 22.0N 90.5W
MAX WIND 90 KT...GUSTS 110 KT.

REQUEST FOR 3 HOURLY SHIP REPORTS WITHIN 300 MILES OF 14.0N 56.5W

NEXT ADVISORY AT 17/0300Z

$$
FORECASTER AVILA


NAVIGATIONAL ALGORITHMS
Oceanografía y Navegación

Indice

La *oceanografía* es la rama de las *Ciencias de la Tierra* que estudia los mares y los océanos, y los fenómenos que se dan en ellos, desde el punto de vista biológico, físico, geológico y químico. En náutica interesan los fenómenos que afectan a la navegación y a su seguridad, como son los hielos flotantes, las olas y las corrientes marinas.

San Sebastián – Donostia
43º 19'N 002ºW

Versión: Enero 2008

Corrientes marinas

Las corrientes son desplazamientos horizontales de grandes masas de agua a través de los océanos y mares. Por su magnitud influyen en el clima de las regiones que bañan debido a su aporte calorífico.

Causas y Formación

En navegación, para efectuar una navegación segura interesa:

- Efectos sobre una embarcación: deriva
- Descripción: Ih, Rc, zona de acción

La causa principal de la formación de las corrientes es la radiación solar sobre la superficie del agua, que produce una diferencia de temperatura en la masa de agua.

- Diferencia de densidad por ΔT y salinidad. (Corriente del Golfo de México, corriente del Labrador)
- Diferencia de nivel por evaporación. (Corrientes del Mediterráneo)
- Viento. (Corrientes del Océano Indico)
- Mareas. (Corrientes de marea del Mar del Norte)

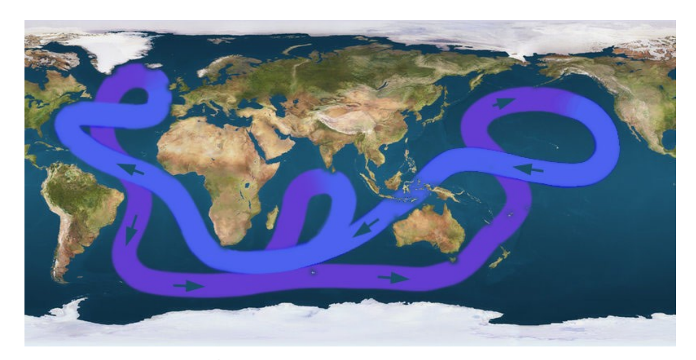
Todas las corrientes están afectadas por la fuerza de Coriolis, por lo que sufren una desviación hacia la derecha en el hemisferio Norte. También influyen en su trayectoria el perfil de las costas y la configuración de los fondos.

Para medir la dirección e intensidad de las corrientes se usa un dispositivo llamado *correntómetro*.

Clasificación

Por su origen:

Corrientes de densidad, Termohalinas, debidas a variaciones de temperatura y salinidad de las masas de agua. Si se evapora el agua de la superficie se vuelve más salada, más densa. Si recibe agua de precipitaciones o de ríos, el agua de la superficie se vuelve menos densa.

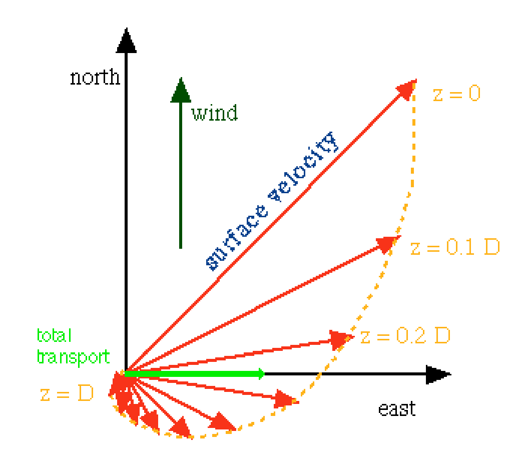


Circulación termohalina.

Corrientes de arrastre, de viento o de deriva, originadas por la acción del viento sobre el agua superficial del mar. La fuerza del viento que sopla sobre la superficie de la mar produce un movimiento en el agua que se transmite a las capas inferiores, pero la dirección del viento y de la corriente no coinciden. La dirección de la corriente es desviada hasta 45º por la acción combinada de dos fuerzas:

- de *rozamiento*. Disminuye su velocidad con la profundidad.
- de *Coriolis*. La desvía a la derecha en el HN y a la izquierda en el HS. Crece al aumentar la latitud, y se hace nula en el ecuador.

El espiral de Ekman es un modelo teórico que explica el movimiento de las capas de un fluido por la acción de la fuerza de Coriolis.



Espiral de Ekman – desvío de la corriente respecto del viento generador.

Corrientes de gradiente, causadas por la diferencia de presión entre dos zonas, que produce una inclinación en el nivel del agua al encontrarse dos masas de agua de distinta densidad

Corrientes de marea, debidas al fenómeno de las mareas, causadas por la atracción del Sol y la Luna sobre las masas de agua. La variación vertical del nivel de las aguas genera corrientes horizontales importantes, sobre todo en lugares estrechos y de poco fondo, donde suelen adquirir grandes velocidades al coincidir con estrechamientos en los cauces debido a la orografía submarina. A las corrientes de marea se las suele llamar de flujo y reflujo, según la marea sea entrante o vaciantes. Son periódicas y alternativas, y en general no guardan sincronismo con la bajamar y la pleamar.

Otras clasificaciones son:

Por su localización:

- Oceánicas
- Costeras
- Locales
- Superficiales

Por su profundidad:

- Intermedias
- Profundas

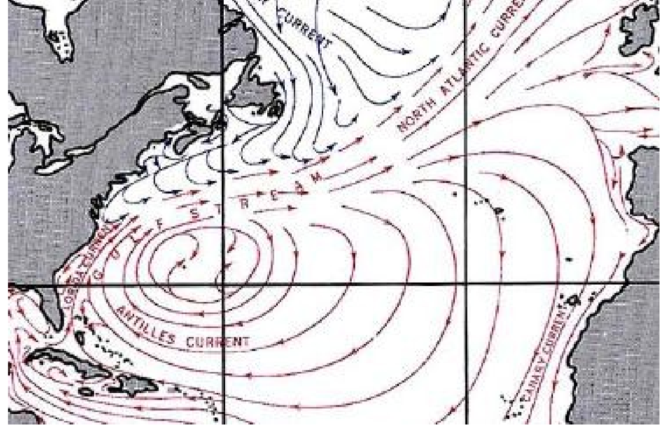
Por su temperatura:

- Calientes
- Frías

Por su duración:

- Permanentes
- Estaciónales
- Accidentales

Contracorrientes. Asociadas a las corrientes principales, se generan unas contracorrientes secundarias que circulan contiguas a estas con dirección opuesta. Si son casi circulares, reciben el nombre de *Corrientes Eddy*.



Corrientes Eddy

En un canal se pueden forman corrientes importantes, la velocidad del agua es máxima en el centro y mínima en las orillas, donde en muchos casos, se crea una contracorriente. También es mayor en las partes cóncavas que en las convexas.

Corrientes generales en las costas españolas

- Del Bidasoa a Estaca de Bares (E)
- De Estaca de Bares al río Miño(una hacia el E y otra hacia el S)
- Costa de Portugal (S)
- Estrecho de Gibraltar (E)
- Mar de Alborán (E)
- Costa Valenciana (SW que luego se une al E)
- Costa Catalana (SW)
- Baleares (SE)
- Entre estrecho y Las Canarias (SW)

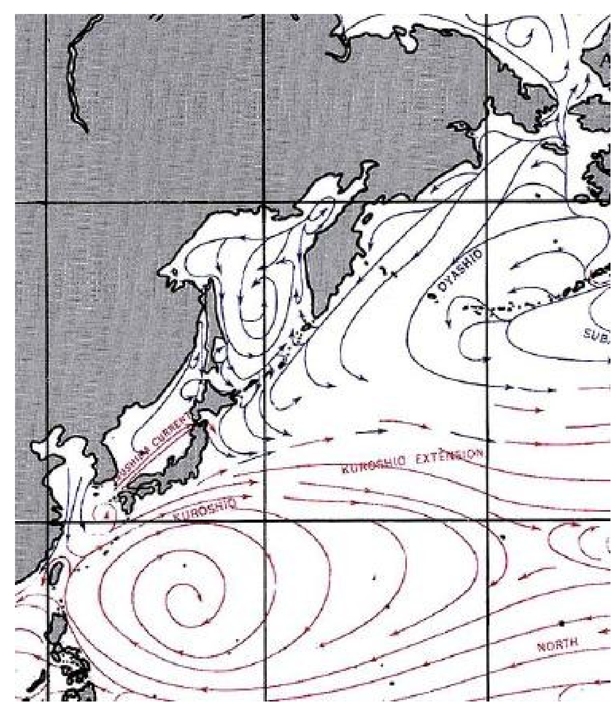


Principales corrientes del mundo

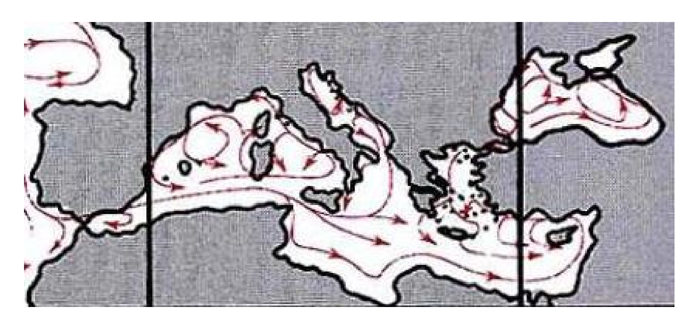
- **Atlántico Norte** Corriente ecuatorial del norte, ecuatorial del sur, del Caribe, de Florida, de las Antillas y de las Bahamas, de Guinea, del Golfo, del Atlántico norte, de las Azores, subtropical del norte, de Portugal, de Canarias, del Alisio, Atlántica de Noruega, de Spitzbergen, de Nueva Zembla, de Litke, de Irminger, occidental de Groenlandia, del Labrador.

- **Atlántico Sur** Corriente ecuatorial del sur, de Brasil, subtropical del sur, general del Antártico, del Cabo de Hornos, de Benguela, contracorriente de Brasil.

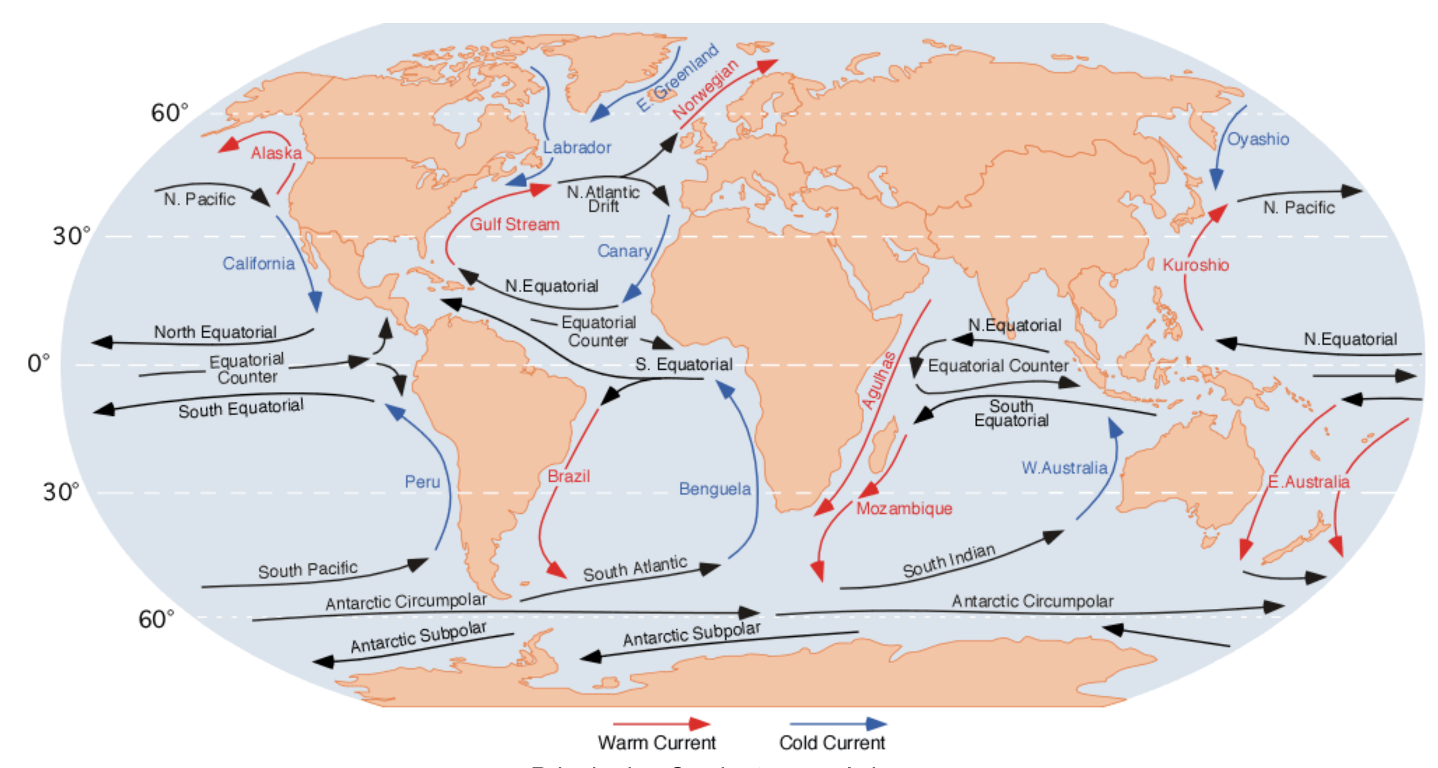
- **Pacifico norte** Corriente ecuatorial del norte, de KuroShio, OyaShio, Kuriles, septentrional del pacifico, de las Aleutianas, de Kanchatka, de Alaska, de California, contracorriente ecuatorial.



- **Pacifico sur** Corriente ecuatorial del sur, occidental de Australia, del Antártico, del Perú o de Humboldt.
- **Indico** Altamente influenciadas por los monzones. Indico N: Monzón del NE, de Noviembre a Abril - corrientes del W. Monzón del SW, de Mayo a Septiembre - corrientes del E. Indico S: circulación en sentido antihorario. Corriente ecuatorial del norte, de la costa oriental de África, Mozambique, contracorriente ecuatorial del índico.
- Corriente de la agujas, del Antártico, occidental de Australia, del Alisio.
- **Mediterráneo**



La corriente de Portugal penetra por el estrecho, originando una corriente que rodea la costa africana para luego girar en el sentido antihorario hacia el N bordeando las costas de Europa. En los mares, Adriático, Egeo,…, aparecen pequeñas circulaciones en sentido horario. La corriente de vuelta hacia el W se produce en profundidad a través del estrecho de Gibraltar, ya que debido a la gran evaporación que sufre: el agua superficial se vuelve más densa y se hunde. Esta evaporación también afecta al nivel del mar que disminuye, compensándose con agua entrante por el estrecho de Gibraltar.

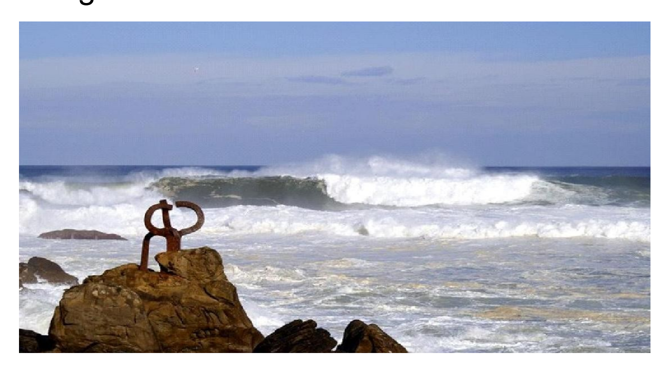


Principales Corrientes oceánicas.

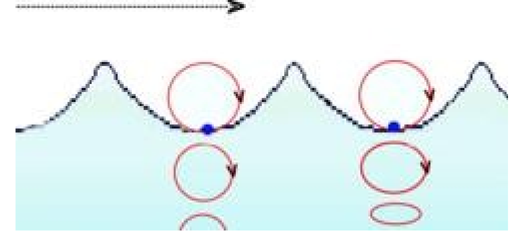
En general en el HN siguen el sentido horario y en el HS el antihorario.

Las Olas

Las olas son las ondulaciones de la superficie del agua.



Olas en el Peine del Viento, San Sebastián.



La traslación solo afecta al movimiento ondulatorio y no a las partículas de agua, a cierta profundidad las aguas están quietas.

Recibe el nombre de *tren de olas* cuando hay varias consecutivas en la misma dirección y de las mismas características.

Formación de olas

La causa principal de la formación de las olas es el viento, que transmite parte de su energía cinética a la superficie del agua por rozamiento. También pueden producir olas los maremotos, las corrientes, las erupciones volcánicas y las mareas.

Causas:

- Viento
- Corrientes, mareas
- Tsunamis, maremoto

La velocidad umbral del viento para que su energía cinética origine la formación de olas, es aquella que logra vencer la viscosidad del agua, (ronda los 5 kt). Una vez alcanzado este estadio, la ola se desarrolla en altura y en longitud hasta que el viento alcanza una velocidad de 10 kt, a partir de este momento la ola crece más en altura que en longitud.

Rompimiento de las olas

Causas

En alta mar las olas rompen su cresta al incrementar su altura en relación a su base, haciéndose inestables. También rompen al encontrarse ondulaciones de distinta dirección. Estas rompientes indican vientos duros.

En aguas poca profundas la parte baja de la ola pierde inercia por rozamiento con el fondo, y la parte alta sigue su avance, haciendo inestable a la ola que rompe.

Efectos

Rompientes. Las rompientes se presentan con gran cantidad de espuma en lugares de poco fondo. Cuando se producen rompientes en arrecifes, bajos o barras, se presentan en líneas irregulares y puede haber remolinos fuertes en las proximidades.



Rompiente en "El Rey del Mar", Walt Disney

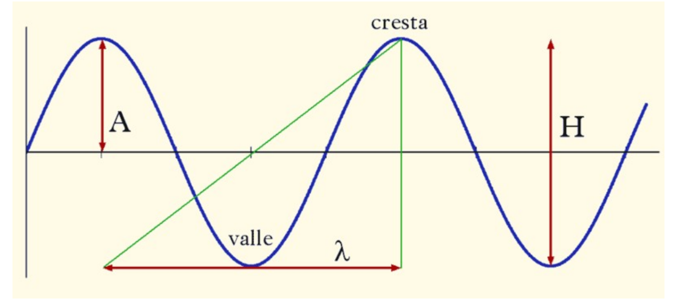
El oleaje al acercarse al fondo se va frenando, las olas que se acercan a la costa van girando y poniéndose paralelas a los veriles del fondo para finalmente hacerlo al perfil de la costa. El proceso es el siguiente:

- Para profundidad del fondo = 1/2 longitud de la ola, esta comienza a sentir el fondo.
- Al acercarse a fondos de menor profundidad la ola va aumentando su altura y disminuyendo su longitud.
- Finalmente cuando se cumple que profundidad = 1.3 altura ola, esta rompe, y aparecen las rompientes.

Resaca. Cuando el agua inicia el movimiento de retorno en forma de ola reflejada, establece un movimiento inverso hacia la mar, lo que causa el arrastre hacia el interior de materiales y objetos.

Características de las olas

- L - Longitud
- H - Altura
- T - Periodo



Parámetros de las olas

$\lambda = VT = L$
$L = 1.56T^2$
L [m]
T [s]

$V = 3T$
$H = L/13$

La parte alta de la ola se llama cresta y la parte baja seno.

- **Longitud de onda** es la distancia entre dos crestas o dos senos consecutivos.
- La **altura** de la ola es la distancia vertical entre una cresta y un seno consecutivos. A = H/2
- **Periodo** es el tiempo medio, [s], que tarda un punto de la ola en recorrer su trayectoria circular.
- **Frecuencia** es el número de crestas o senos que pasan por un punto en un tiempo determinado.
- **Pendiente** P = H/L
- **Velocidad** de propagación es la distancia recorrida por una cresta o seno en la unidad de tiempo.
- La **dirección** es el punto cardinal de donde viene la mar, (igual que viento).

Altura de las olas

Se distinguen dos tipos de olas; las del mar de viento y las del mar de fondo.

Zona generadora

Es el área sobre la cual un viento de dirección e intensidad constante crea oleaje.

- **Intensidad** del viento: su velocidad en nudos o grado en la escala Beaufort
- **Persistencia**: tiempo en el que el viento sopla en la misma dirección sobre la zona generadora.
- **Fetch**: extensión longitudinal de la zona generadora donde el viento sopla en la misma dirección y con intensidad constante.

Mar de Viento

(Sea wind – Mer)

Mar de viento es la ola producida por el viento que sopla en un determinado instante de tiempo sobre la zona generadora.

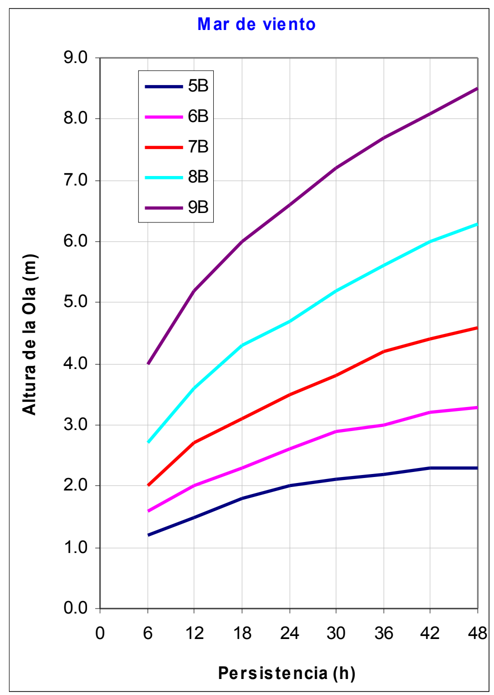
- Olas puntiagudas
- De pequeña longitud de onda
- Oleaje irregular

La ola para formarse necesita un tiempo determinado, persistencia mínima, que depende de la intensidad del viento generador. Alcanzado ese instante la ola esta completamente desarrollada y la altura de la ola es independiente del tiempo que sople el viento, esta no aumenta su altura en función del tiempo que ha estado soplando el viento; lo hace al crecer el fetch. El factor limitativo de la altura de la ola completamente desarrollada es el fetch.

Régimen Transitorio:

La ola puede seguir creciendo.

- F = ∞
- $H_P = f(P,B)$

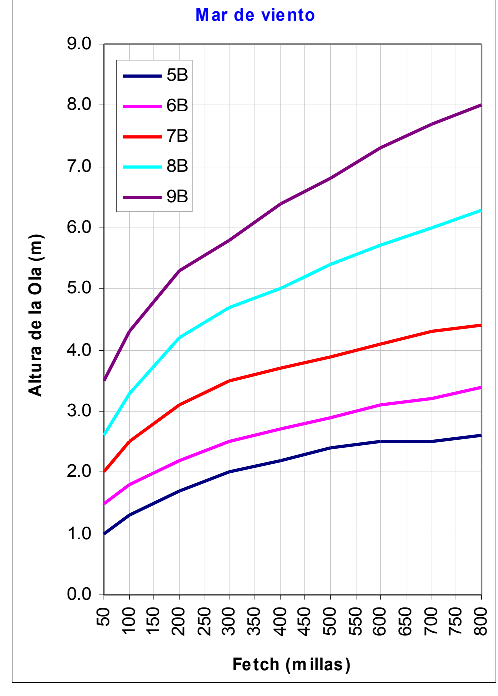


Altura de la ola / Persistencia

Régimen Estacionario:

La ola esta completamente desarrollada.

- P = ∞
- $H_F = f(F,B)$



Altura de la ola / Fetch

La longitud del fetch para un punto determinado es la distancia entre el origen de la zona generadora y dicho punto.

La altura de la ola de viento es:

$$H = \min(H_P, H_F)$$

Si $H = H_P$, el factor limitativo es la persistencia. Mar en régimen transitorio

Si $H = H_F$, el factor limitativo es el fetch. Mar en régimen estacionario

Mar de Fondo

Mar tendida o mar de leva - Swell - Houle

Es el oleaje que aparece en ausencia de vientos, generalmente por haber abandonado la ola la zona generadora o porque el viento ha calmado dentro de la zona generadora.

- Oleaje de perfil sinusoidal; altura muy regular y crestas redondeadas que no rompen.
- Longitud de onda mucho mayor que su altura.

$$H_F = H_0 \left(\frac{2}{3} \right)^{\frac{D}{6L}}$$

Altura de la ola de viento al final de la zona generadora	H0	m
Longitud de la ola	L	m
Distancia de amortiguamiento. (distancia que tiene que recorrer la ola desde el final de la zona generadora)	D	km
Altura de la ola de mar de fondo. (Altura de la ola resultante al cabo de un recorrido en calma)	H_F	m

Escala Douglas del estado de la mar

En general en la mar se dan simultáneamente los dos tipos de olas, aunque uno predomine sobre el otro.

La escala Douglas clasifica el estado de la mar originada por el viento.

Grado	Altura olas *(m)*	Nombre	Beaufort
0	0	Llana	0
1	0 – 0.2	Rizada	1-2
2	0.2 – 0.5	Marejadilla	3
3	0.5 - 1.25	Marejada	4
4	1.25 - 2.5	Fuerte marejada	5
5	2.5 - 4	Mar Gruesa	6
6	4 - 6	Mar Muy Gruesa	7
7	6 - 9	Mar Arbolada	8-9
8	9 - 14	Mar Montañosa	10-11
9	14 +	Mar Enorme	12

Hielos flotantes

Origen

Según sea su procedencia, los hielos flotantes se clasifican en terrestres, marinos o fluviales.



- Hielo terrestre: de origen continental, procede de los glaciares cercanos al mar que desprenden masas de hielo que quedan a la deriva; son los icebergs.
- Hielos marinos: se forman en aguas de mar cercanas a la costa y de poca profundidad.
- Hielos fluviales: son los procedentes de lagos y ríos.

Cuanta menos salinidad tengan las aguas, más fácilmente será su formación. Los originados a partir de agua dulce no tienen salinidad por lo que se desintegran con facilidad.

Tipos de hielo marino y proceso de formación

- Frazil Ice. El hielo se empieza a generar en suspensión en el agua formando espiguillas o cristalitos de 1 cm de longitud.
- Grease Ice. Los cristalitos de hielo se van uniendo.
- Ice Rind. Capa o corteza de hielo que se forma en superficies tranquilas 5 cm de grosor.
- Nilas. Corteza de hielo de 10 cm de espesor.
- Slush (papilla). Una capa de nieve que queda sobre el agua que se esta congelando.
- Pancake Ice (torta de hielo). Trozos circulares de hielo de 30 cm de grosor y 3 metros de diámetro.
- Ice cake. Trozo de hielo de menos de 10 m de longitud.
- Pack Ice. Cualquier tipo de hielo flotante no unido a tierra.
- Ice Island. Isla de hielo flotante.
- Floe. Trozo de hielo marino, nuevo y plano, de extensión variable de 10 m a 10 km.

Según estén fijados a tierra o no, se clasifican como sigue:

- Fast Ice. Hielo que esta fijo a lo largo de la costa. Forma la banquisa costera.
- Drift Ice. Hielo a la deriva que flota libremente.

La banquisa

La banquisa es una capa de hielo flotante que se forma en las regiones oceánicas polares por congelación del mar y por precipitaciones de nieve.

Su espesor típico se sitúa entre un metro, cuando se renueva cada año, y 4 ó 5 m, cuando persiste en el tiempo, como ocurre en la región ártica más próxima al polo. Excepcionalmente se forman engrosamientos locales de hasta 20 m de espesor. En muchas ocasiones está constituida por bloques de hielo fracturados que han sido nuevamente soldados.

Existen dos banquisas que ocupan una parte variable del océano: una en el centro del Océano Ártico y otra alrededor del Continente Antártico:

- La banquisa ártica por ahora es permanente, fundiéndose cada año las partes más próximas a los continentes circundantes, época aprovechada para la circunnavegación del océano Ártico. En marzo alcanza los 15 millones de km^2 y en septiembre alcanza los 6.5 millones de km^2.

- La banquisa antártica desaparece en su mayor parte durante el verano austral y se vuelve a formar en el invierno astral, alcanzando una extensión equivalente a la del continente. En septiembre alcanza los 18.8 millones de km^2 mientras en marzo es de sólo 2.6 millones de km^2.

Icebergs

También llamados témpanos de hielo, se clasifican según su forma y según su tamaño.

Clasificación por su forma

- **Tabular**: Son icebergs planos con los lados escarpados. El ratio dimensional cumple: longitud/altura > 5:1. Muchos muestran bandas horizontales.

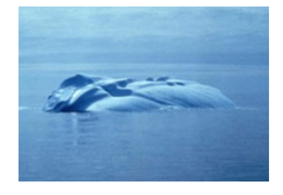



- **No-tabular**: Se incluyen todos los icebergs que no sean tabulares. Esta categoría se subdivide para incluir las formas específicas que se describen a continuación.

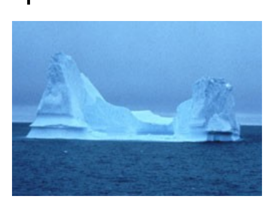



Clasificación del Iceberg de forma No-Tabular

- **Dome**: Iceberg de punta redondeada.

- **Pinnacle**: Iceberg con una o más agujas o puntas.




- **Wedge**: Iceberg que tiene un lado vertical escarpado y que se inclina en el otro.




- **Dry-dock**: Iceberg en donde al ir fundiéndose se ha formando una ranura o un canal.



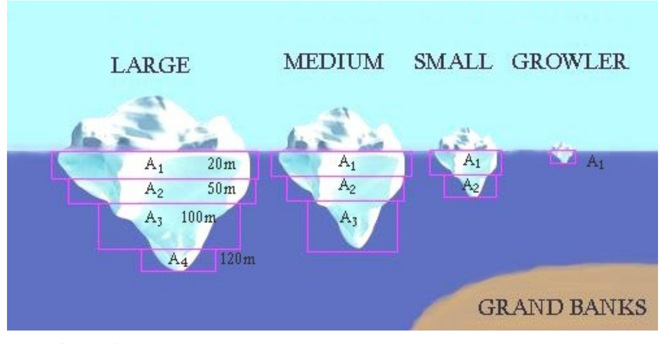

- **Blocky**: Iceberg de punta plana con lados verticales y escarpados.




Clasificación por su tamaño

Tamaño	Altura (m)	Longitud (m)
Growler	< 1	< 5
Bergy Bit	1-4	5-14
Pequeño	5-15	15-60
Mediano	16-45	61-122
Grande	46-75	123-213
Muy grande	> 75	> 213

La parte de hielo sumergida son 9/10 de su volumen.



Clasificación por tamaño de los Icebergs No-Tabulares. [6]

Oceanografía y Navegación

Los Pilot Charts dan para cada mes del año información estadística sobre hielos corrientes climatología adversa, etc., útil para planificar una navegación segura.

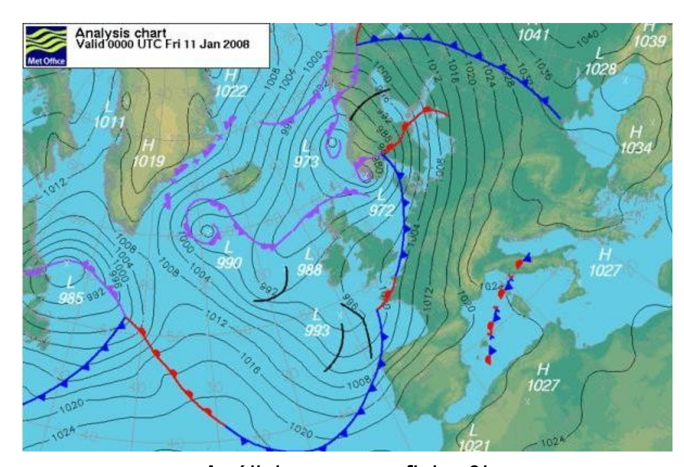
Los riesgos para la navegación asociados a cada elemento son los indicados en el cuadro:

	Riesgo
Corrientes	Deriva
Olas	Hundimiento
Hielos	Abordaje

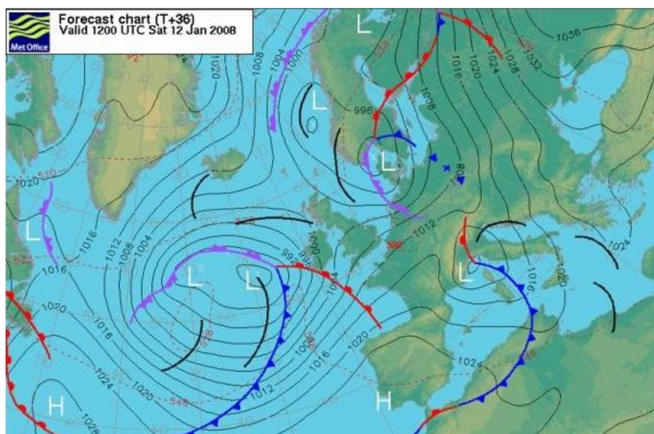
Las corrientes y la navegación

Los institutos hidrográficos de diversos países publican atlas de corrientes de sus costas, y del mundo.

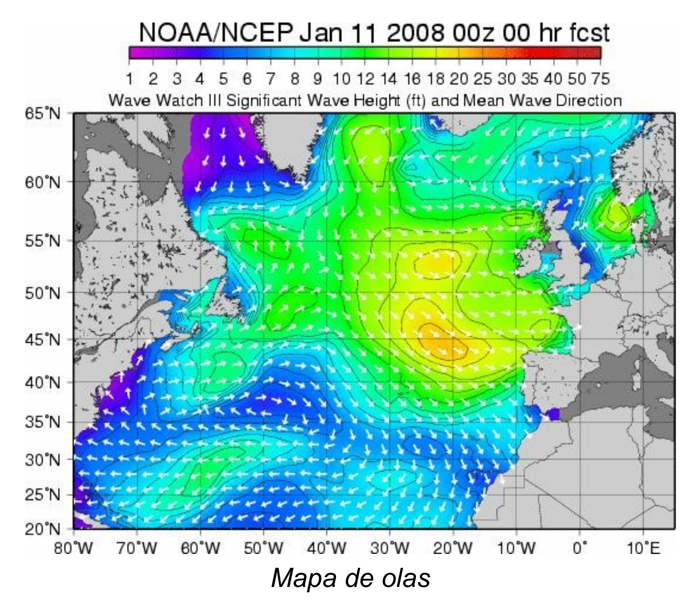
Navegación con mala mar



Análisis en superficie. 0h



Análisis en superficie. + 36h



Mapa de olas

La previsión del mal tiempo que conlleva el paso de los frentes asociados a una borrasca es vital para la seguridad en la navegación.

Navegación en zona de hielos

Se deben respetar las disposiciones del SOLAS, (Safety of Life at Sea), sobre hielos.

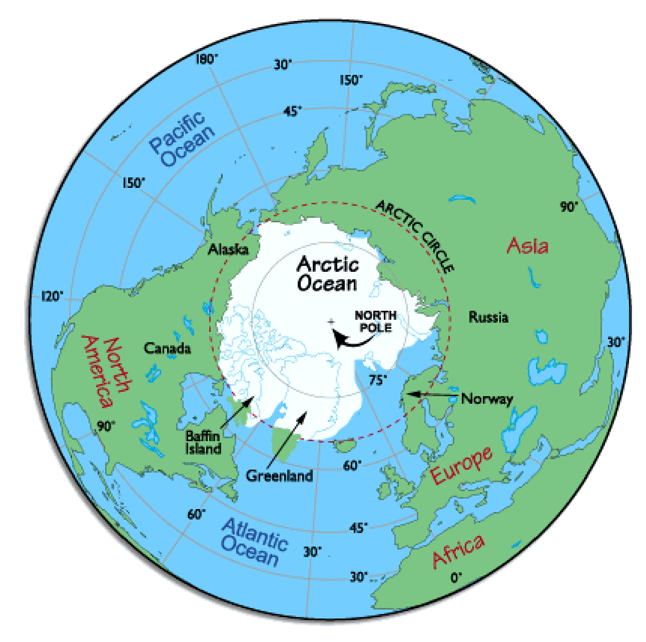
Los mapas de hielos e icebergs son de gran utilidad a la hora de planificar la ruta más segura.

Epocas y lugares donde son más frecuentes



Rompehielos navegando

Límites



Hemisferio Norte



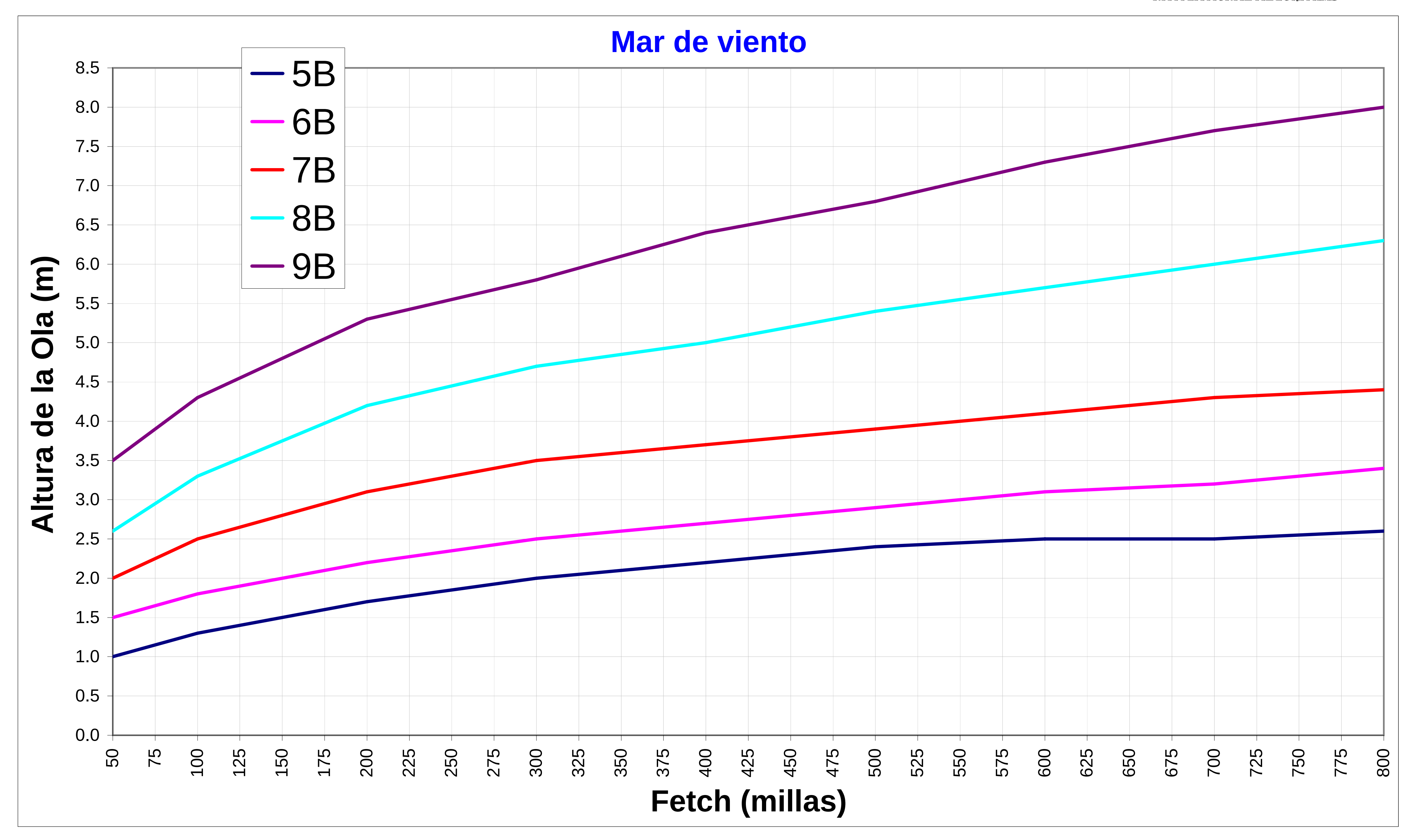
Hemisferio Sur

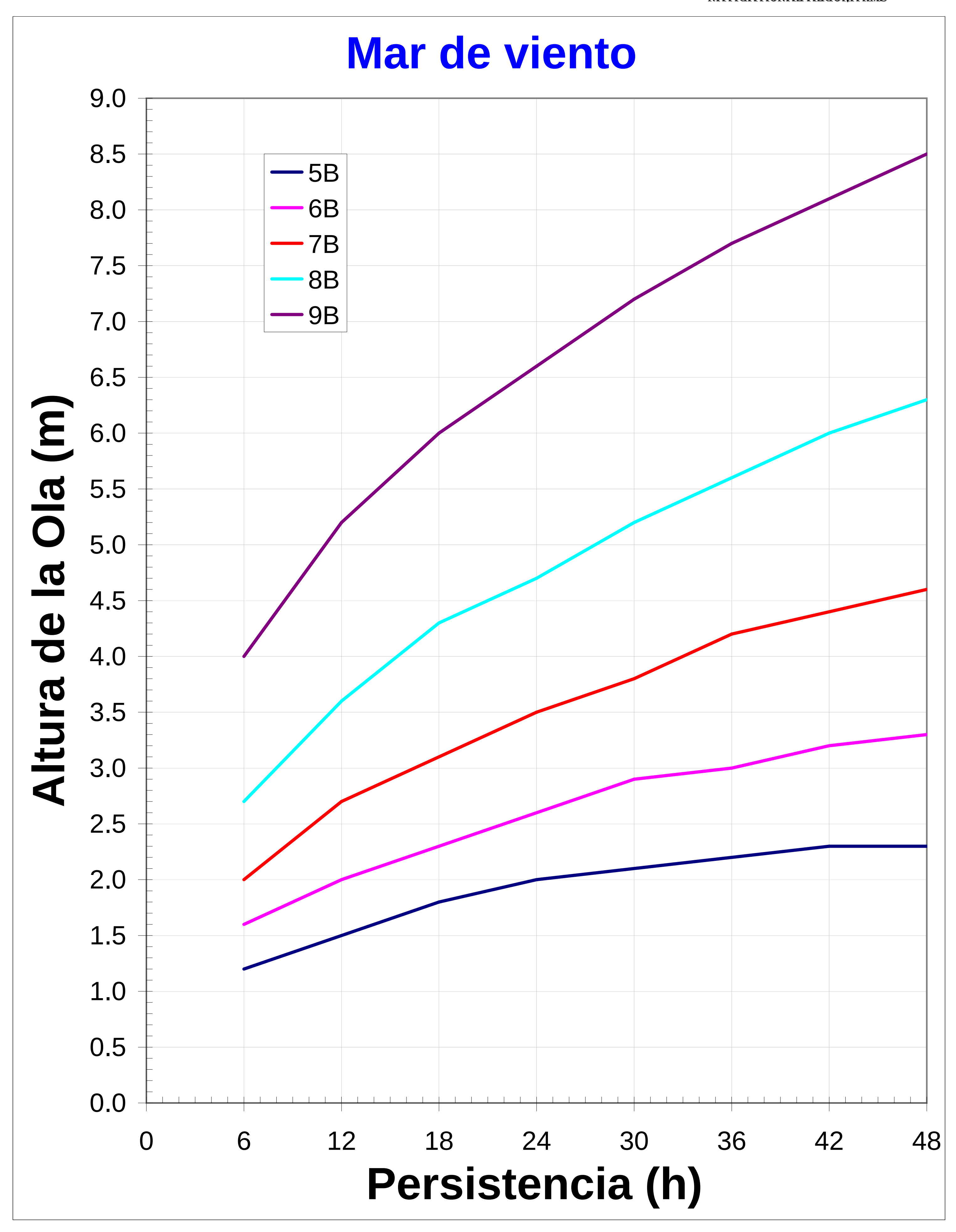
Signos de proximidad de un iceberg

- De noche, con buena visibilidad, un iceberg aparece como una mancha blanquecina.
- Rompientes blanquecinas de olas que chocan contra ellos, pueden delatar su presencia.
- La presencia de pájaros puede indicar icebergs próximos.
- Atender al RADAR, a la información por satélite, y a los ecos de los sonidos de los pitos o bocinas, (multiplicando la mitad del tiempo que tarda en regresar el eco por la velocidad del sonido, 340 m/s, se obtiene la distancia al témpano) .

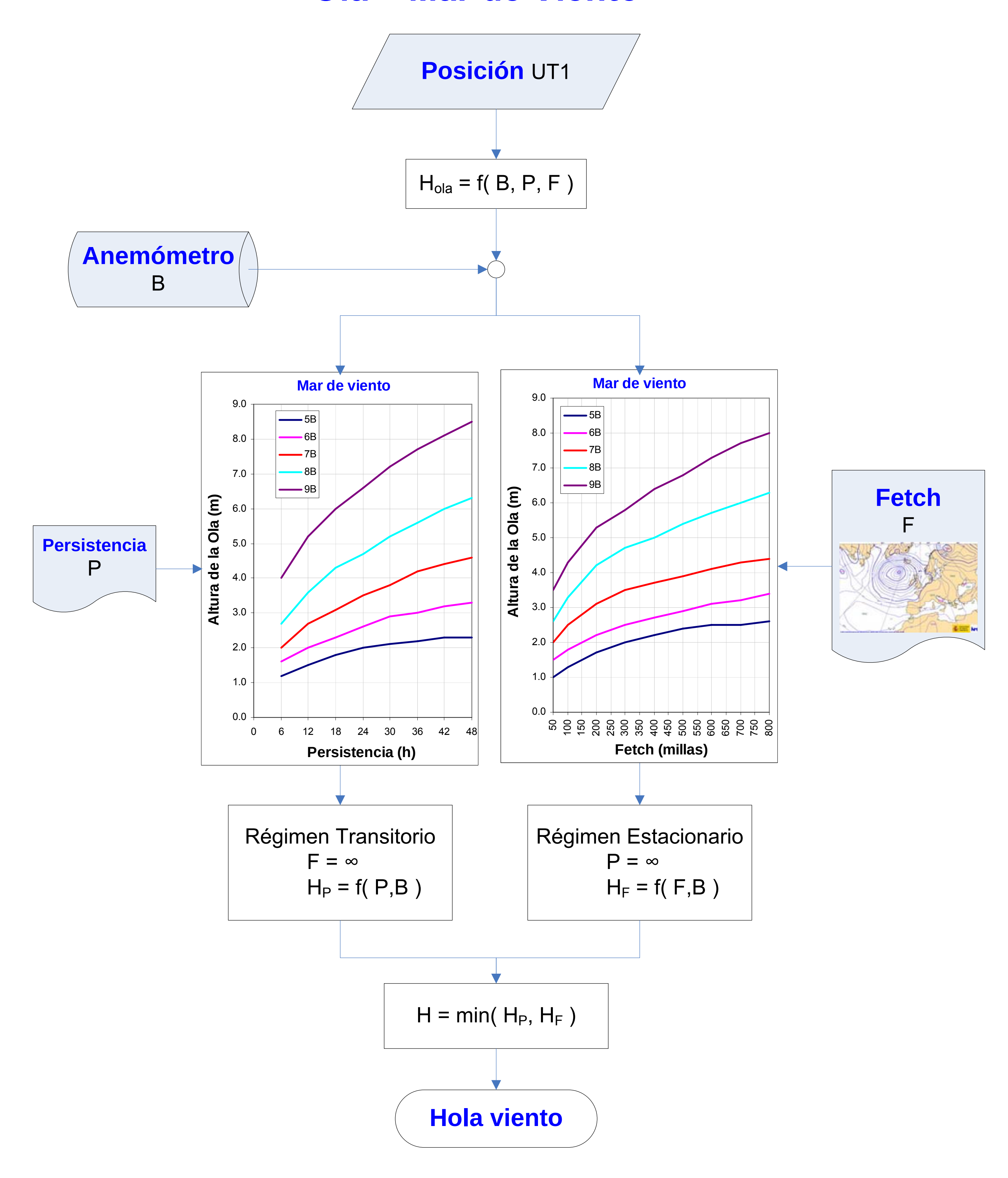
Medidas de seguridad

- Cuando se de un avistamiento, se llevará una marcha moderada y se alterará el rumbo de forma que se aleje claramente el peligro.
- Se reforzará la vigilancia.
- Navegando con niebla o poca visibilidad, se parará o moderará la maquina y se emitirán las señales fónicas reglamentarias.
- Verificar visualmente la información del radar.
- Dejar a los icebergs por barlovento.
- En caso de colisión se recomienda que sea por la proa; los daños suelen ser menores que por el costado.


Mar de viento
5B
6B
7B
8B
9B
Altura de la Ola (m)
Fetch (millas)
8.5
8.0
7.5
7.0
6.5
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
50
75
100
125
150
175
200
225
250
275
300
325
350
375
400
425
450
475
500
525
550
575
600
625
650
675
700
725
750
775
800


Mar de viento
9.0
8.5
8.0
7.5
7.0
6.5
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
5B
6B
7B
8B
9B
Altura de la Ola (m)
0
6
12
18
24
30
36
42
48
Persistencia (h)

Ola – Mar de Viento

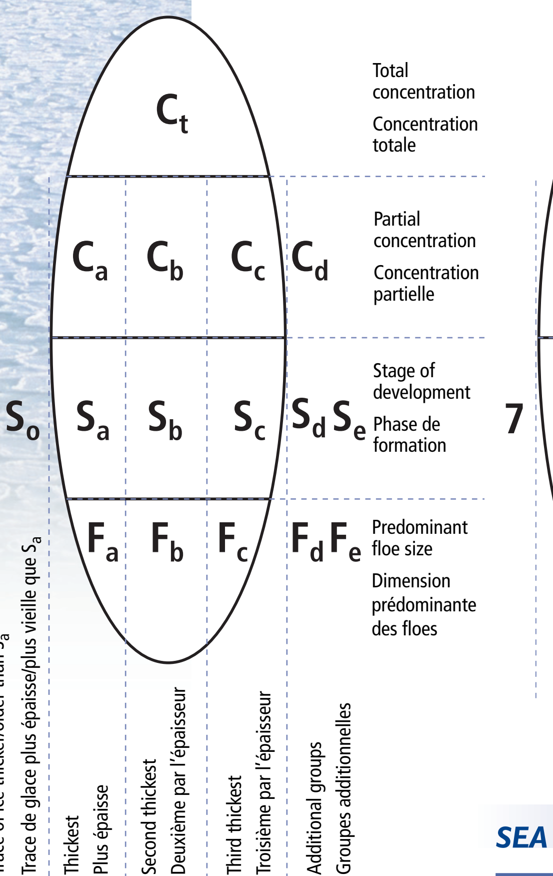


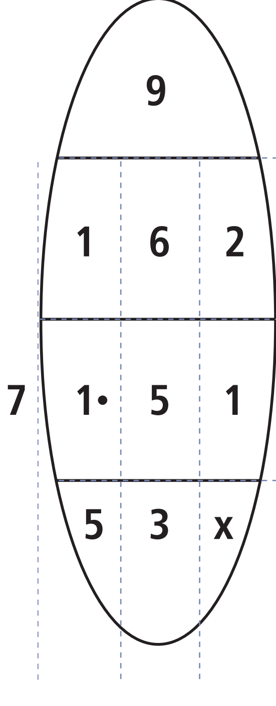
Environment Canada / Environnement Canada

FACT SHEET / FICHE D'INFORMATION

SEA ICE SYMBOLS
SYMBOLES DE LA GLACE DE MER

2004





Total concentration: the ice coverage of an area determined by its concentration and expressed in tenths (in this example, 9/10).
Concentration totale : l'étendue de la couverture de glace, exprimée en dixièmes de la superficie du secteur (dans cet exemple, 9/10).

Partial concentration: the break-down of the total ice coverage expressed in tenths and graded by thickness. The thickest starting from the left and in this example, 1/10 is the thickest.
Concentration partielle : les concentrations respectives, exprimées en dixièmes, des glaces de différente épaisseur, par ordre décroissant. La plus épaisse commence à la gauche du diagramme, c'est-à-dire, 1/10 est le plus épais.

Stage of development: the type of ice in each of the grades, determined by its age, that is 1/10 is medium first-year ice (1•), 6/10 is grey-white ice (5) and 2/10 is new ice (1). Trace of old ice is represented on the lefthand side (outside the egg) by the number 7.
Stade de développement : le type de glace de chacune des catégories déterminé par son âge, c'est-à-dire, 1/10 est de la glace moyenne de première année (1•), 6/10 est de la glace blanchâtre (5), et 2/10 est de la nouvelle glace (1). Une trace de vielle glace est représentée à gauche (à l'extérieur de l'oeuf) par le chiffre 7.

Floe size: the form of the ice determined by its floe size for each section. In this example, big floes (5) for medium first-year ice (1•); small floes (3) for grey-white ice (5); and undetermined, unknown or no form floes (x) for new ice (1).
Taille des floes : la forme de la glace, déterminée par la taille des floes dominants de chaque section. Dans cette exemple, grands floes (5) pour la glace moyenne de première année (1•); petits floes (3) pour glace blanchâtre (5)et floes indéterminée, inconnue ou sans forme (x) pour la nouvelle glace (1).

Note: When an ice type has a dot (•) every other value to the left of it is also considered to have a dot.

Remarque: Lorsqu'un nombre est suivi d'un point (•), toute autre valeur apparaissant à sa gauche est également pointée.

SEA ICE SYMBOLS/SYMBOLES DE LA GLACE DE MER

Open Water / Eau libre

Ice Free / Libre de glace

Bergy Water

Fast Ice / Banquise côtière

Stage of Development/Stade de développement ($S_oS_aS_bS_cS_dS_e$)

Description/Élément	Thickness/Épaisseur	Code
New ice/Nouvelle glace	<10 cm	1
Nilas; ice rind/Nilas glace, vitrée	<10 cm	2
Young ice/Jeune glace	10-30 cm	3
Grey ice/Glace grise	10-15 cm	4
Grey-white ice/Glace blanchâtre	15-30 cm	5
First-year ice/Glace de première année	30 cm	6
Thin first-year ice/Glace mince de première année	30-70 cm	7
Medium first-year/ Glace moyenne de première année	70-120 cm	1•
Thick first-year ice/Glace épaisse de première année	>120 cm	4•
Old ice/Vieille glace		7•
Second-year/Glace de deuxième année		8•
Multi-year/Glace de plusieurs années		9•
Ice of land origin/Glace d'origine terrestre		▲•
Undetermined, unknown or no form/ Indéterminée, inconnue ou sans forme		X

Floe Size/Grandeur des floes ($F_aF_bF_c$)

Description/Élément	Width/Extension	Code
Pancake ice/Glace en crêpes		0
Small ice cake, brash ice/Petit glaçons, sarrasins	<2 m	1
Ice cake/Glaçons	2-20 m	2
Small floe/Petits floes	20-100 m	3
Medium floe/Floes moyens	100-500 m	4
Big floe/Grands floes	500-2000 m	5
Vast floe/Floes immenses	2-10 km	6
Giant floe/Floes géants	>10 km	7
Fast ice/Banquise côtière		8
Icebergs		9
Undetermined, unknown or no form/ Indéterminée, inconnue ou sans forme		X
Strips (concentration = C)/ Glace en cordons (concentration = C)		ᔓ C



Canadian Ice Service/Service canadien des glaces (CIS/SCG)

Client Services/Service à la clientèle
373 promenade Sussex Drive, E-3
Ottawa, Ontario
K1A 0H3

Tel./Tél.: 1 800 767 2885 (Canada) and/et (613) 996-1550
Fax: (613) 947-9160
Email/Courriel: cis-scg.client@ec.gc.ca
Web site/Site web: http://ice-glaces.ec.gc.ca



Environment Canada Environnement Canada

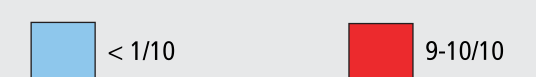
SEA ICE SYMBOLS
SYMBOLES DE LA GLACE DE MER

WMO Concentration Colour Code – Sea Ice
Code de couleurs de l'OMM – Concentration – Glace de mer



Ice Free
Libre de glace

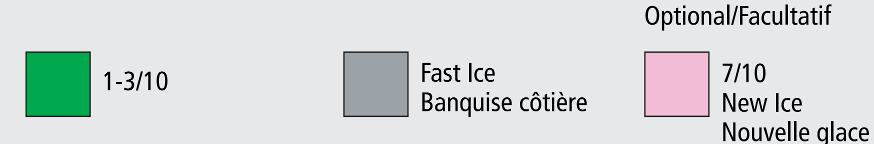
7-8/10



< 1/10

9-10/10

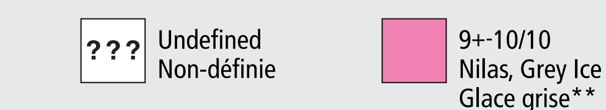
Optional/Facultatif



1-3/10

Fast Ice
Banquise côtière

7/10
New Ice
Nouvelle glace



4-6/10

Undefined
Non-définie

9+-10/10
Nilas, Grey Ice
Glace grise**

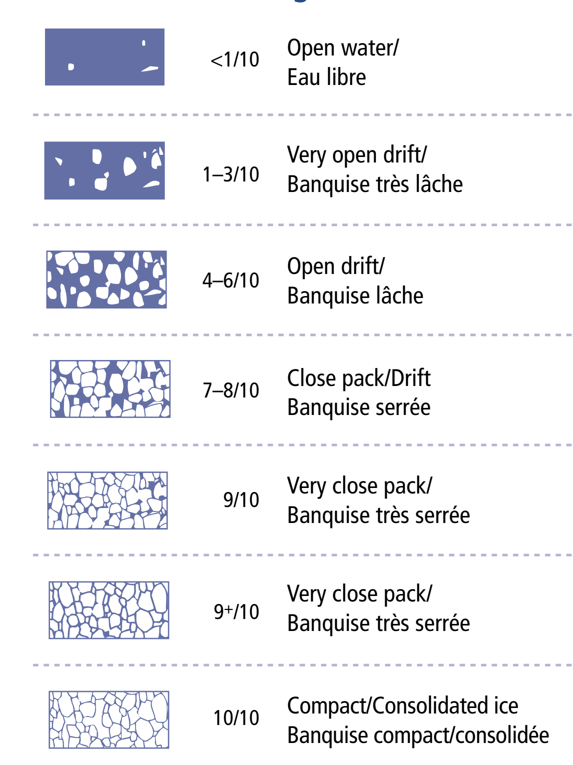
Colour is based on total ice concentration.

La couleur utilisée est établie en fonction de la concentration totale de la glace.

** The optional colour indicating 9/10+-10/10 of nilas or grey ice indicates level ice, mainly on leads; it is not used for ice broken into brash or ice cakes or for concentrations less than 9/10+.

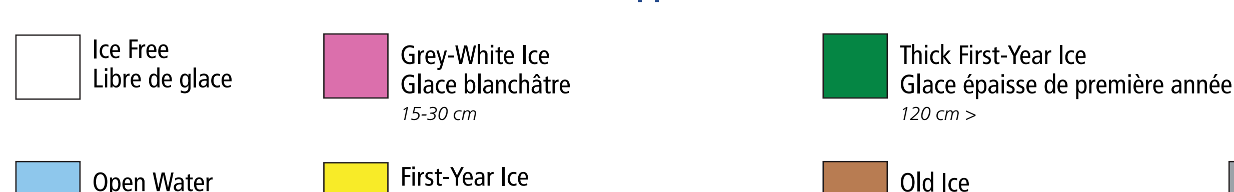
La couleur optionnelle désignant 9/10+-10/10 de nilas ou de glace grise indique de la glace uniforme se retrouvant surtout dans les chenaux; elle n'est pas utilisée pour désigner des sarrasins, des glaçons ou des concentrations de glace inférieures à 9/10+.

Concentration of Ice
Concentrations de glace



	<1/10	Open water/ Eau libre
	1–3/10	Very open drift/ Banquise très lâche
	4–6/10	Open drift/ Banquise lâche
	7–8/10	Close pack/Drift Banquise serrée
	9/10	Very close pack/ Banquise très serrée
	9+/10	Very close pack/ Banquise très serrée
	10/10	Compact/Consolidated ice Banquise compact/consolidée

WMO Stage of Development Colour Code – Sea Ice
Code de couleurs de l'OMM – Stade de développement – Glace de mer



Ice Free
Libre de glace

Grey-White Ice
Glace blanchâtre
15-30 cm

Thick First-Year Ice
Glace épaisse de première année
120 cm >



Open Water
Eau libre

First-Year Ice
Glace de première année
>= 30 cm

Old Ice
Vieille glace

Fast Ice
Banquise côtière



New Ice
Nouvelle glace
< 10 cm

Thin First-Year Ice
Glace mince de première année
30-70 cm

Second-Year Ice
Glace de deuxième année

Undefined Ice
Glace non-définie



Grey Ice
Glace grise
10-15 cm

Medium First-Year Ice
Glace moyenne de première année
70-120 cm

Multi-Year Ice
Glace de plusieurs années

Icebergs

Colour is based on stage of development of predominant ice.

La couleur utilisée est établie en fonction du stade de développement de la glace prédominante.

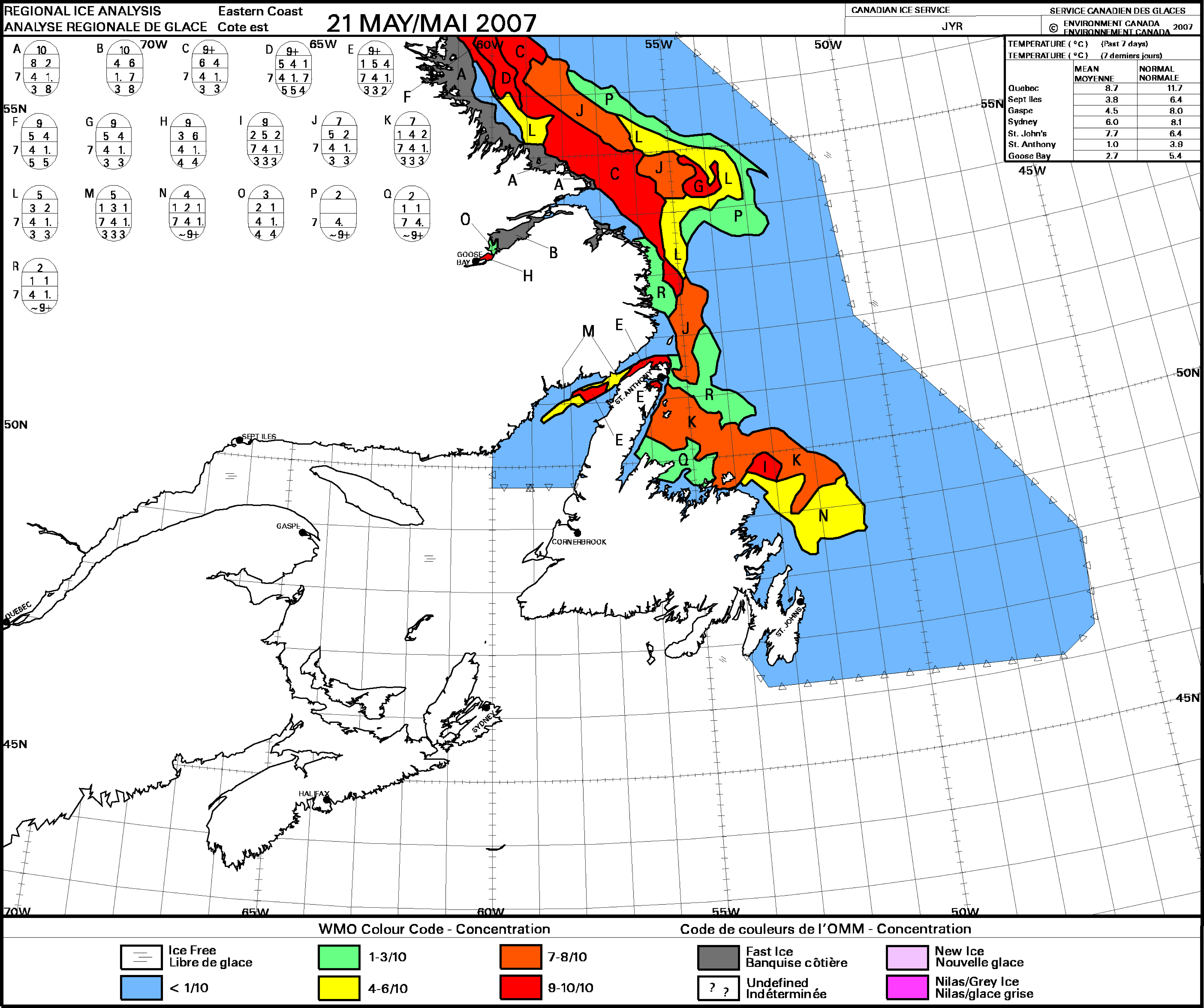


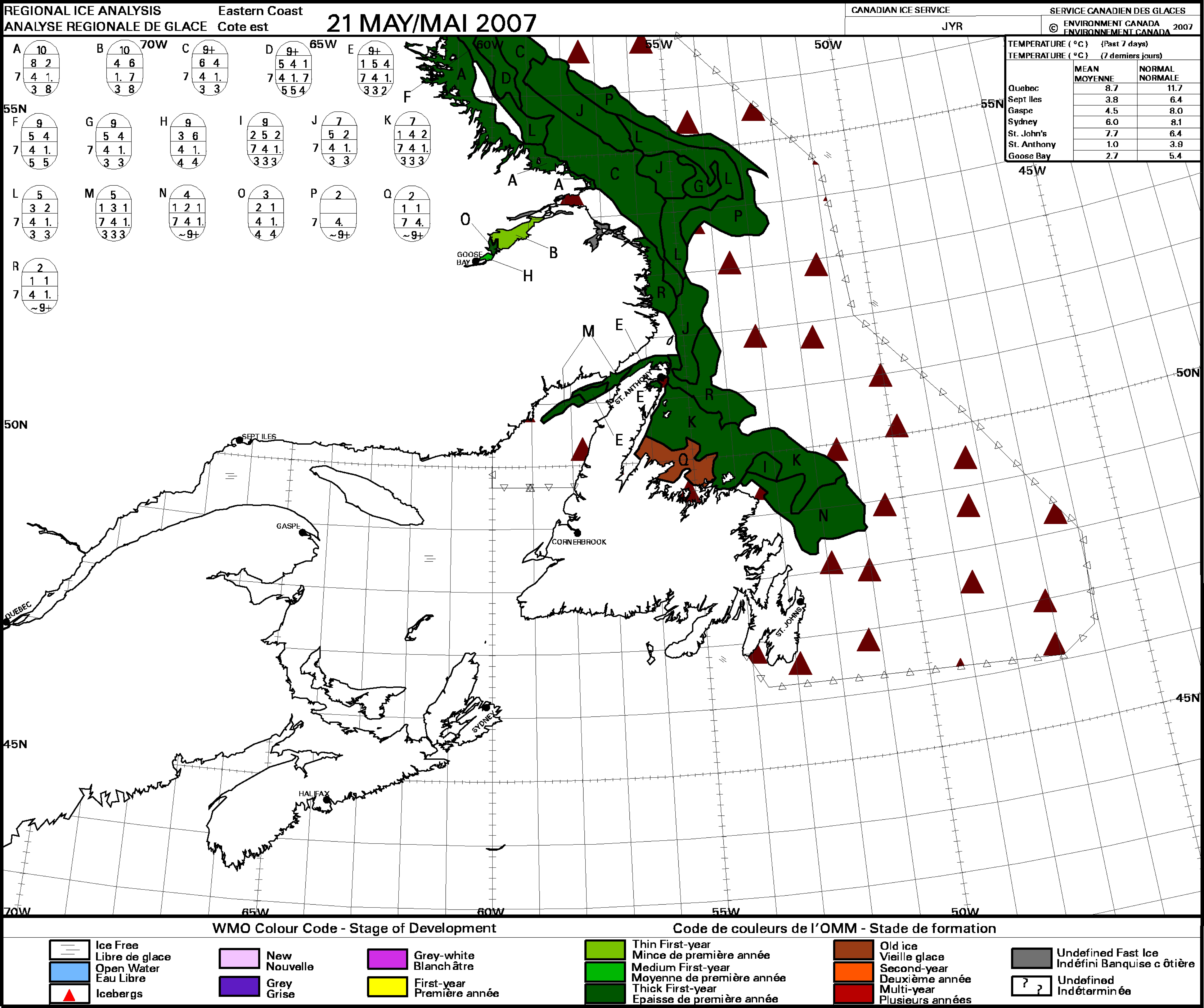
Canadian Ice Service/Service canadien des glaces (CIS/SCG)

Client Services/Service à la clientèle
373 promenade Sussex Drive, E-3
Ottawa, Ontario
K1A 0H3

Tel./Tél.: 1 800 767 2885 (Canada) and/et (613) 996-1550
Fax: (613) 947-9160
Email/Courriel: cis-scg.client@ec.gc.ca
Web site/Site web: http://ice-glaces.ec.gc.ca




REGIONAL ICE ANALYSIS
ANALYSE REGIONALE DE GLACE
Eastern Coast
Cote est
21 MAY/MAI 2007
CANADIAN ICE SERVICE
SERVICE CANADIEN DES GLACES
JYR
© ENVIRONMENT CANADA ENVIRONNEMENT CANADA 2007
TEMPERATURE (°C) (Past 7 days)
TEMPERATURE (°C) (7 derniers jours)
MEAN MOYENNE
NORMAL NORMALE
Quebec 8.7 11.7
Sept Iles 3.8 6.4
Gaspe 4.5 8.0
Sydney 6.0 8.1
St. John's 7.7 6.4
St. Anthony 1.0 3.9
Goose Bay 2.7 5.4
GOOSE BAY
ST. ANTHONY
SEPT ILES
GASPE
CORNERBROOK
QUEBEC
ST. JOHNS
SYDNEY
HALIFAX
WMO Colour Code - Concentration
Code de couleurs de l'OMM - Concentration
Ice Free
Libre de glace
< 1/10
1-3/10
4-6/10
7-8/10
9-10/10
Fast Ice
Banquise côtière
Undefined
Indéterminée
New Ice
Nouvelle glace
Nilas/Grey Ice
Nilas/glace grise

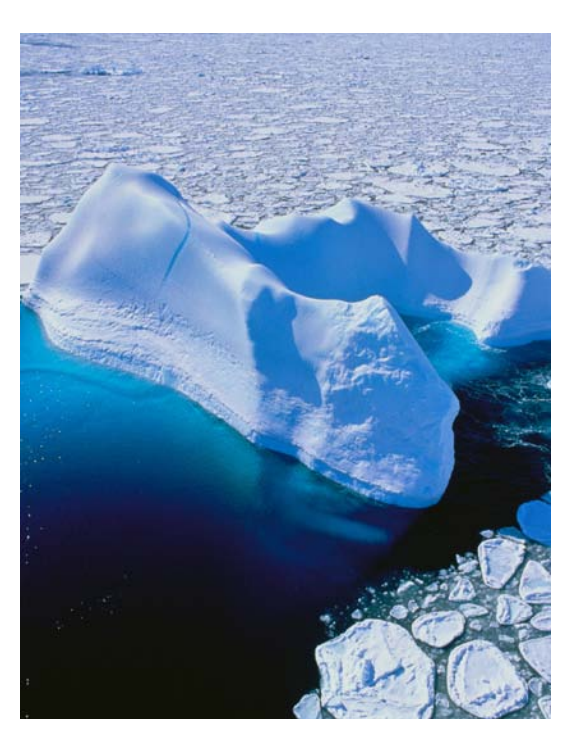


REGIONAL ICE ANALYSIS
ANALYSE REGIONALE DE GLACE
Eastern Coast
Cote est
21 MAY/MAI 2007
CANADIAN ICE SERVICE
SERVICE CANADIEN DES GLACES
JYR
© ENVIRONMENT CANADA ENVIRONNEMENT CANADA 2007
TEMPERATURE (°C) (Past 7 days)
TEMPERATURE (°C) (7 derniers jours)
MEAN MOYENNE
NORMAL NORMALE
Quebec 8.7 11.7
Sept Iles 3.8 6.4
Gaspe 4.5 8.0
Sydney 6.0 8.1
St. John's 7.7 6.4
St. Anthony 1.0 3.9
Goose Bay 2.7 5.4
GOOSE BAY
ST. ANTHONY
SEPT ILES
GASPE
CORNERBROOK
QUEBEC
ST. JOHNS
SYDNEY
HALIFAX
70W
65W
60W
55W
50W
45W
55N
50N
45N
WMO Colour Code - Stage of Development
Code de couleurs de l'OMM - Stade de formation
Ice Free
Libre de glace
Open Water
Eau Libre
Icebergs
New
Nouvelle
Grey
Grise
Grey-white
Blanchâtre
First-year
Première année
Thin First-year
Mince de première année
Medium First-year
Moyenne de première année
Thick First-year
Epaisse de première année
Old ice
Vieille glace
Second-year
Deuxième année
Multi-year
Plusieurs années
Undefined Fast Ice
Indéfini Banquise côtière
Undefined
Indéterminée

Environment Canada / Environnement Canada

FACT SHEET / FICHE D'INFORMATION

ICEBERGS



An **iceberg** is a massive piece of ice of greatly varying shape, protruding 5 metres (m) or more above sea-level, which has broken away from a glacier and which may be afloat or aground.

About 90% of all icebergs encountered in Canadian waters are calved from the glaciers of Western Greenland. That adds up to between **10,000 to 40,000 icebergs annually**.

•••••••••••

Un **iceberg** est une masse très importante de glace détachée d'un glacier et de forme très variable, laquelle émerge de 5 mètres (m) ou plus au-dessus du niveau de la mer, et qui peut être flottante ou échouée.

Environ 90 % de tous les icebergs dans les eaux canadiennes proviennent des glaciers de la côte ouest du Groenland. C'est ainsi que l'on compte **annuellement entre 10 000 et 40 000 icebergs**.

DID YOU KNOW THAT?

- The term "iceberg" probably originates from the Dutch term "ijsberg", which means ice hill. *
- The largest iceberg on record in the Northern Hemisphere was observed near Baffin Island in 1882. It was 13 kilometres (km) long, 6 km wide, 20 m above water, and had a mass of 9 billion tonnes.*
- Icebergs may be reported off Newfoundland during November, December, and January when their numbers are at a minimum, but the maximum normally occurs during **April**, **May** and **June**. *

LE SAVIEZ-VOUS?

- Le terme « iceberg » provient probablement du mot Hollandais « ijsberg », qui signifie colline de glace.*
- Le plus grand iceberg dans l'hémisphère Nord a été observé près de l'île Baffin en 1882. Il était 13 kilomètres (km) de longeur, 6 km de largeur, 20 m d' hauteur au-dessus de l'eau et avait une masse de 9 milliards de tonnes. *
- Près de la côte de Terre-Neuve, on peut apercevoir des icebergs pendant les mois de novembre, décembre et janvier pendant lesquels leur nombre est au minimum mais pendant les mois d'**avril**, **mai** et **juin** le nombre d'icebergs est au maximum. *

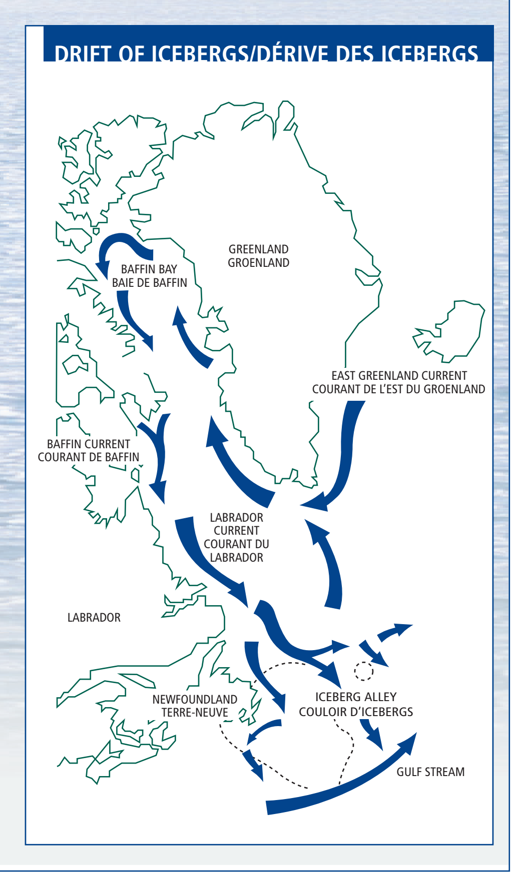
* Dr. S.E. Bruneau

The drift of icebergs from their origin on the west coast of Greenland to the coast of Newfoundland is about 1800 nautical miles and takes an average of 2 to 3 years. Icebergs travel in the Baffin Current and then the Labrador Current. Finally, they reach the Grand Banks of Newfoundland where they drift either eastward north of the Flemish Cap or southward between the Flemish Cap and the Grand Banks which is often referred to as "Iceberg Alley".

•••••••••••

La dérive des icebergs depuis leur lieu d'origine, sur la côte ouest du Groenland, jusqu'aux côtes de Terre-Neuve est d'environ 1 800 milles marins et dure, en moyenne, de deux à trois ans. Les icebergs se déplacent à l'aide du courant de Baffin, puis du courant du Labrador. Enfin, ils aboutissent dans les Grands Bancs de Terre-Neuve, d'où ils dérivent ensuite, soit vers l'est, au nord du Bonnet Flamand, soit vers le sud, entre le Bonnet Flamand et les Grands Bancs, secteur communément appelé le « couloir d'icebergs ».

DRIFT OF ICEBERGS/DÉRIVE DES ICEBERGS





Canadian Ice Service/Service canadien des glaces (CIS/SCG)

Client Services/Service à la clientèle
373 promenade Sussex Drive, E-3
Ottawa, Ontario
K1A 0H3

Tel./Tél.: 1 800 767-2885 (Canada) and/et (613) 996-1550
Fax: (613) 947-9160
Email/Courriel: cis-scg.client@ec.gc.ca
Web site/Site web: **http://ice-glaces.ec.gc.ca**





Environment Canada Environnement Canada

ICEBERGS

ICEBERG SHAPES / FORMES D'ICEBERG



TABULAR / TABULAIRE

A flat-topped iceberg. Most show horizontal banding.

Iceberg à sommet plat. La plupart présentent des bandes horizontales.

NON-TABULAR / NON-TABULAIRE

A flat-topped iceberg that has been eroded so that it no longer has a flat top.

Iceberg à sommet plat ne comportant plus de sommet plat, à la suite des effets de l'érosion.



BLOCKY / BLOC

A flat topped iceberg with steep vertical sides.

Iceberg à sommet plat et doté de parois verticales abruptes.



WEDGED / BISEAUTÉ

An iceberg that is rather flat on top and with steep vertical sides on one end, sloping to lesser sides on the other end.

Iceberg doté d'un sommet plutôt plat et de parois verticales très prononcées à une extrémité, dessinant une pente vers l'autre extrémité moins prononcée.



DOMED / EN DÔME

An iceberg that is smooth and rounded on top.

Iceberg à sommet lisse et arrondi.



DRYDOCK / ÉRODÉ

An iceberg which is eroded such that a U-shaped slot is formed near or at water level, with twin columns or pinnacles.

Iceberg érodé de façon à former une fente en U au niveau de l'eau (ou près de ce dernier) et comportant deux colonnes/pointes.



PINNACLE / POINTU

An iceberg with a central spire or pyramid, with one or more spires.

Iceberg doté au centre d'une pointe ou d'une pyramide formée d'une ou de plus d'une pointes.

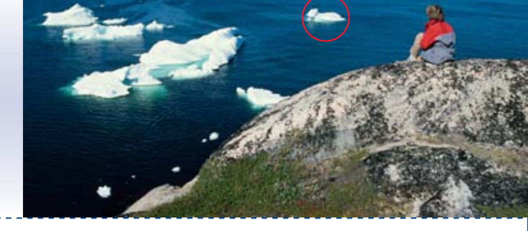
CAN YOU SEE THE BERGY BITS? / POUVEZ-VOUS IDENTIFIER LES FRAGMENTS D'ICEBERG?

BERGY BIT

A piece of glacier ice, generally showing 1 to less than 5 m above sea level, with a length of 5 to 15 m. They normally have an area of 100 to 300 square metres.

FRAGMENT D'ICEBERG

Masse de glace flottante qui émerge généralement de 1 à 5 m dont la longueur est entre 5 et 15 m et couvrant une superficie de 100 à 300 mètres carrés.





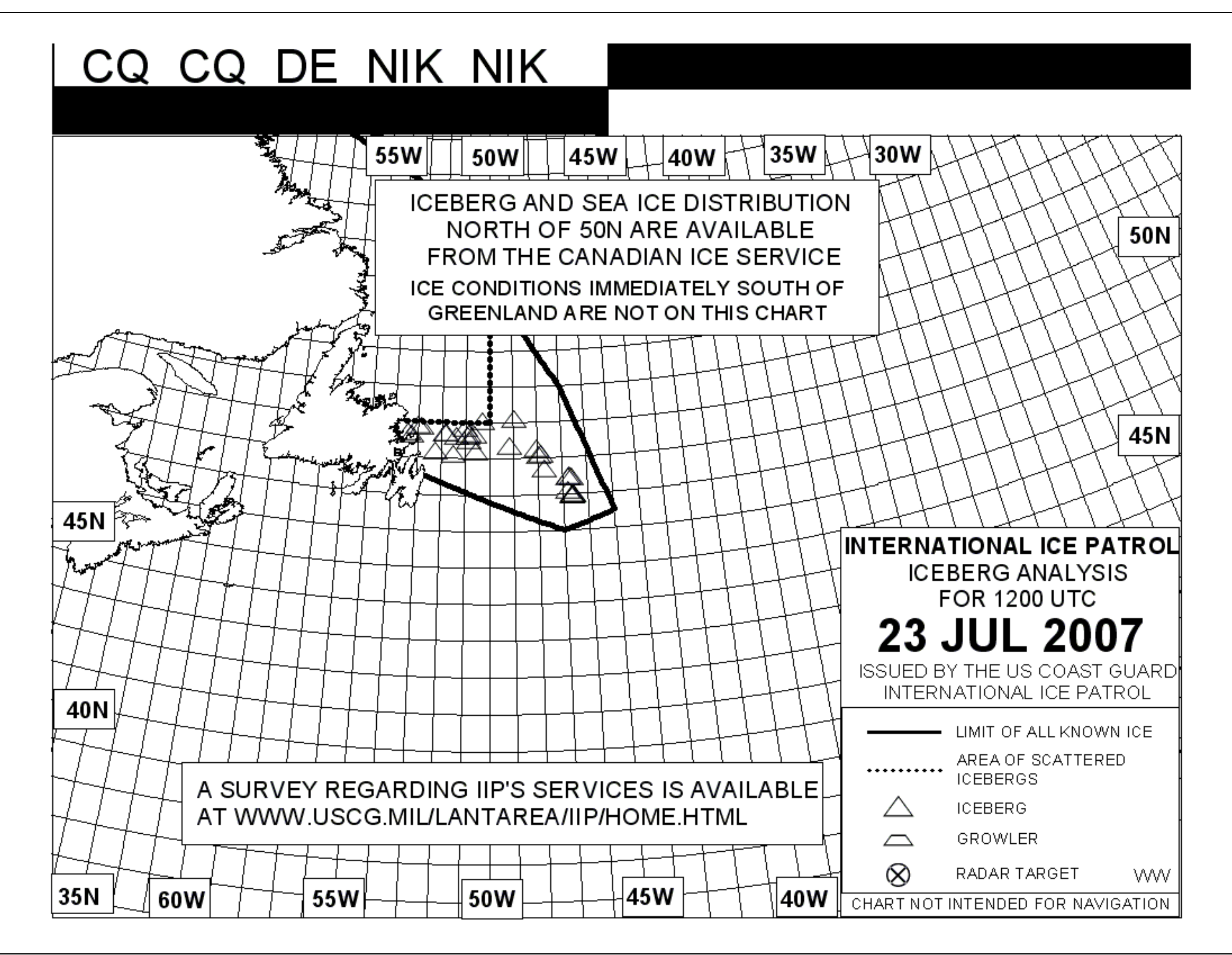
Canadian Ice Service/Service canadien des glaces (CIS/SCG)

Client Services/Service à la clientèle
373 promenade Sussex Drive, E-3
Ottawa, Ontario
K1A 0H3

Tel./Tél.: 1 800 767-2885 (Canada) and/et (613) 996-1550
Fax: (613) 947-9160
Email/Courriel: cis-scg.client@ec.gc.ca
Web site/Site web: **http://ice-glaces.ec.gc.ca**



```
SUBJ: INTERNATIONAL ICE PATROL (IIP) BULLETIN
SECURITE
1. 25 JUL 07 1200 UTC ESTIMATED LIMIT OF ALL KNOWN ICE:
FROM 4731N 5236W TO 4700N 4800W TO 4800N 4600W TO 5000N 4700W
TO 5530N 5230W TO 5700N 5715W.
2. SIGNIFICANT REDUCTION OF LIMIT TO ALL KNOWN ICE SINCE
24 JUL 07 UTC BULLETIN DUE PREDICTED DETERIORATION.
3. SCATTERED ICEBERGS ARE NORTH OF 4900N AND WEST OF 5100W.
4. USE EXTREME CAUTION WHEN NEAR THE GRAND BANKS AS ICE MAY
BE PRESENT. REPORT POSITION AND TIME OF ANY ICE ENCOUNTERED
TO COMINTICEPAT VIA CG COMMUNICATIONS STATION NMF, NMN,
INMARSAT CODE 42, OR ANY CANADIAN COAST GUARD RADIO STATION.
MAKE UNCLASSIFIED SEA SURFACE TEMPERATURE AND WEATHER
REPORTS TO COMINTICEPAT EVERY SIX HOURS WITHIN LATITUDES 40N
AND 50N AND LONGITUDES 39W AND 57W.
5. ICEBERG CHART FACSIMILE BROADCASTS ARE AT 0438Z, 1600Z
AND 1810Z ON FREQUENCIES 6340.5, 9110.0 AND 12750.0 KHZ.
6. ADDITIONAL ICE PRODUCTS AND A SURVEY REGARDING IIP'S
SERVICES ARE AVAILABLE AT WWW.USCG.MIL/LANTAREA/IIP/HOME.HTML.
BT
```

Know Your Ice

Land Ice

Water Vapor



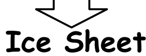
Snow

A precipitation of ice crystals, most of which are branched



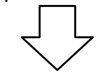
Firn

Old snow which has been transformed into a dense material. It is not snow; it's particles are joined. It is not ice; it has communicating air interstices.



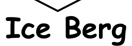
Ice Sheet

A mass of ice and snow of considerable thickness and large area on rock or floating on water. An ice sheet of greater than 50,000 square Km is called an ice cap.



Glacier

A mass of snow and ice continuously moving from higher to lower ground, or if afloat, constantly spreading.



Ice Berg

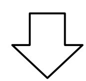
A large mass of floating ice, more than 5 meters above sea level that has broken away from a glacier.

Ice Shelf

A floating ice sheet of considerable thickness attached to a coast. The seaward side is the ice front.

Tabular Berg

A flat topped ice berg formed by breaking off from and ice shelf.



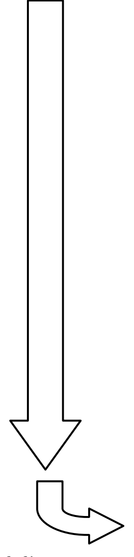
Bergy Bits

A piece of floating ice less than 5 meters above sea level and not more than about 10 meters across.



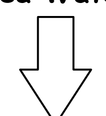
Growler

A piece of floating ice, smaller than a bergy bit, almost awash.



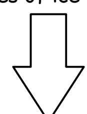
Sea Ice

Sea Water



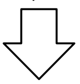
Frazil Ice

Fine spicules or plates of ice in suspension in water.



Grease Ice

A later stage of freezing than frazile ice; coagulated spicules and plates.



Shuga

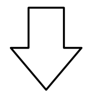
An accumulation of spongy white lumps, a few centimeters across formed from slush or grease ice.

Ice Rind

A brittle, shiny crust formed on a quiet surface by direct freezing or from grease ice less than 5 centimeters thick.

Slush

Snow, saturated with water floating after a heavy snowfall



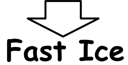
Nilas

A thin elastic crust of floating ice bending on waves up to 10 centimeters thick.



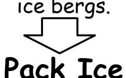
Pancake Ice

A piece of new ice approximately circular, 30 centimeters to 3 meters across, with raised rims. Formed from freezing together of grease ice, slush or shuga or the break up of ice rind or nilas.



Fast Ice

Sea ice which remains fast along the coast where it is attached to the shore; an ice front, ice wall or over shoals or between grounded ice bergs.



Pack Ice

Any area of sea ice other than fast ice no matter the form or disposition.



Floe

A piece of floating ice other than fast ice or glacier ice. There are five sizes:

Ice Cake – less than 10 meters across
Small – 10 to 100 meters across
Medium – 100 to 1000 meters across
Big – 1 to 10 kilometers across
Vast – Over 10 kilometers across

Brash

Accumulation of floating ice made up of fragments not more than 2 meters across. The wreckage of other forms of ice.



Sea Water

NAVIGATIONAL ALGORITHMS

Publicaciones náuticas



Índice

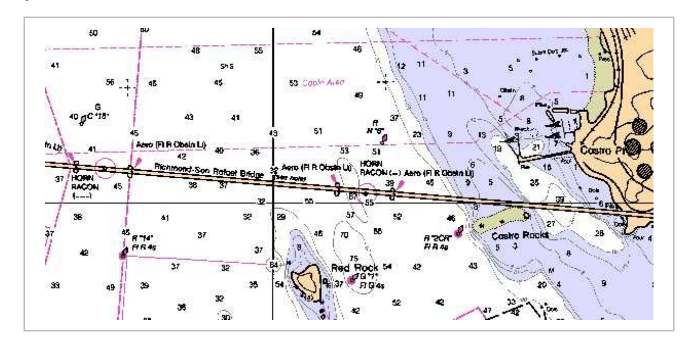
Publicaciones náuticas

El Instituto Hidrográfico de la Marina de España recoge en el Catálogo de cartas y publicaciones náuticas, todas sus publicaciones oficiales.

En Francia se encarga el Service Hydrographique et Océanographique de la Marine: SHOM, en Gran Bretaña el United Kingdom Hydrographic Office: UKHO. La Nacional Geospatial Intelligence Agency: NGA de Estados Unidos publica en la Web gran variedad de información nautica de interes.

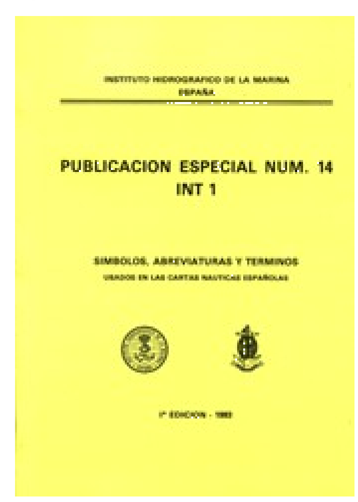
Cartas náuticas

Están publicadas por los Institutos Hidrográficos de cada país, en formato papel o electrónico, y deben ser actualizadas periódicamente.



Símbolos usados en las Cartas Náuticas

Esta publicación explica los símbolos, abreviaturas y términos usados en las Cartas Náuticas Españolas.



Publicación especial nº 14

Existen publicaciones similares de los Institutos Hidrográficos de otros países.

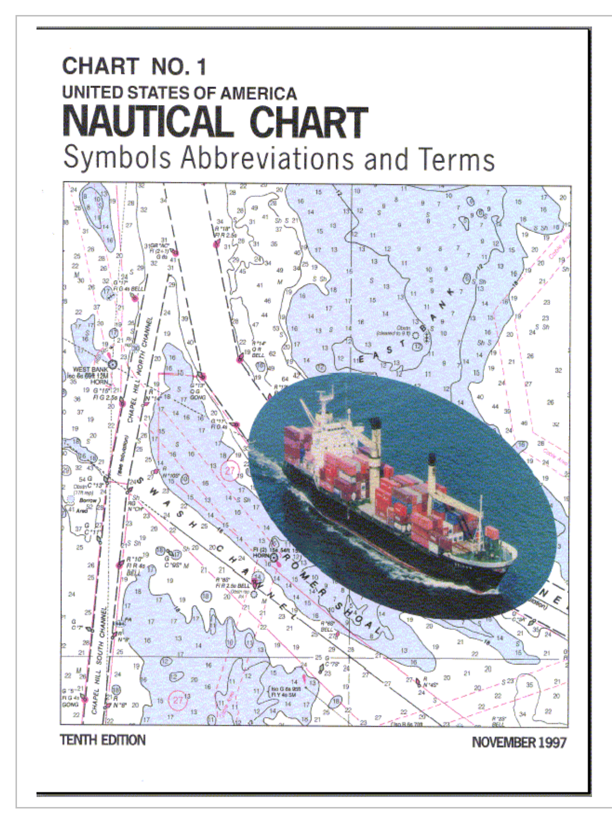
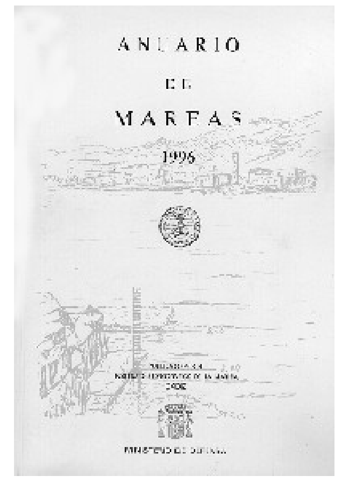


Chart nº 1. Nautical Charts Symbols, Abbreviations and Terms

El anuario de mareas



Instituto Hidrográfico de la marina. España

Se compone de varias partes:

1ª parte: Puertos principales. Proporciona para cada día, las horas de pleamar y bajamar, y las alturas del agua correspondientes.

2ª parte: Puertos secundarios. Se indican las diferencias en horas y alturas de

pleamares y bajamares respecto a los puertos principales.

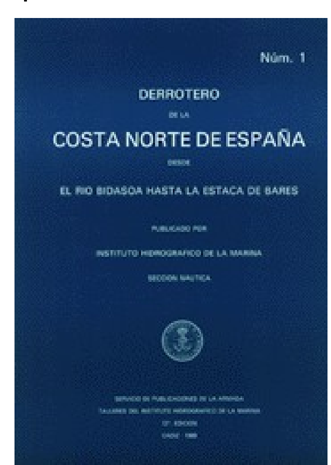
3ª parte: Gráficos y constantes de marea para puertos extranjeros.

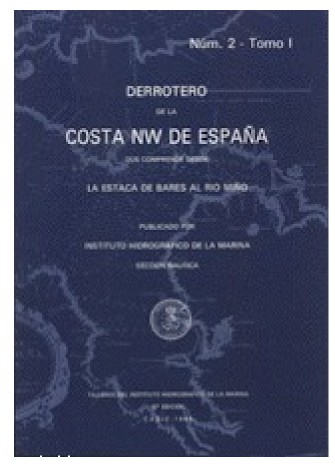
Las horas indicadas se refieren al huso Cero, con lo que para obtener la hora oficial es preciso sumar el adelanto vigente.

Las alturas, toman un nivel de referencia determinado, que no es el mismo en todos los países; en España es el nivel de la mayor bajamar conocida (bajamar escorada) pero en Inglaterra, por ejemplo, se toma como referencia el nivel de la bajamar en mareas vivas (MLWS).

Derroteros

El publicado por el Instituto Hidrográfico de la Marina, España, consta de cinco números, que deben actualizarse periódicamente.





Instituto Hidrográfico de la marina. España

num. 1

Costa Norte de España desde el Río Bidasoa hasta la Estaca de Bares

Num. 2 - Tomo I

Costa NW de España que comprende desde la Estaca de Bares al Río Miño

Num. 2 - Tomo II

Costas de Portugal y SW de España desde el Río Miño al Cabo Trafalgar con inclusión de Barbate

Num. 3 - Tomo I

Costas del Mediterráneo que comprende la Costa Norte y Sur del Estrecho de Gibraltar y la Costa Oriental de España desde Punta Europa hasta la frontera con Francia

Num. 3 - Tomo II

Costas del Mediterráneo que comprende las Islas Baleares, la Costa Norte de Marruecos y la Costa de Argelia

Num. 4

Costa W de Africa que comprende de Cabo Espartel a Cabo Verde, con inclusión de Dakar e Islas Açores, Madeira, Selvagens, Canarias y Cabo Verde

Num. 5

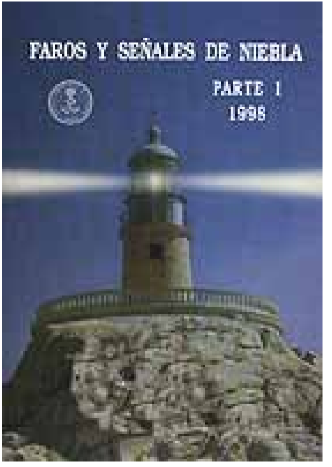
Costa W de Africa desde el Cabo Verde al Cabo López con las Islas de la Bahía de Biafra

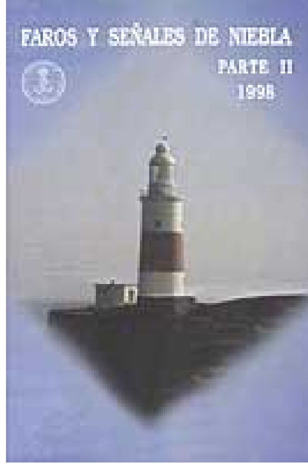
Cada libro tiene la siguiente estructura:

1ª parte: datos meteorológicos y oceanográficos de cada zona, información sobre rutas en alta mar y recaladas y otros aspectos de tipo práctico como estaciones de salvamento, combustible, etc.

2ª parte: datos referentes a las características de la costa, como por ejemplo enfilaciones, fondeaderos, peligros, balizas, así como información sobre puertos y los servicios de que constan.

Faros y señales de niebla





Instituto Hidrográfico de la marina. España

El libro de Faros y señales de niebla, da información sobre cada luz existente en la costa, ordenada en 8 columnas:

1. Número español del faro, (orden cartográfico).
2. Nombre y una breve referencia sobre su localización.

3. Situación geográfica (Latitud, Longitud).
4. Apariencia de la señal y período.
5. Elevación (m) del foco luminoso sobre el nivel medio del mar.
6. Alcance nominal de la luz (millas).
7. Descripción del soporte: Forma, color y características.
8. Información complementaria: fases de las luces, delimitación de sectores, luces de obstáculos aéreos, existencia de radiofaros, etc.

Consta de la siguiente estructura:

Parte 1:

Costas de España y Portugal en el Atlántico, costa occidental de Africa desde Cabo Espartel hasta Cabo López (Gabón) e islas Azores, Madeira, Canarias, Cabo Verde y del Golfo de Guinea

Parte 2:

Estrecho de Gibraltar, costas en el Mediterráneo de España, Francia e Italia hasta el Cabo Spartivento y las de Marruecos, Argelia, Túnez, Libia e islas adyacentes.

Avisos a los navegantes - Notices to Mariners

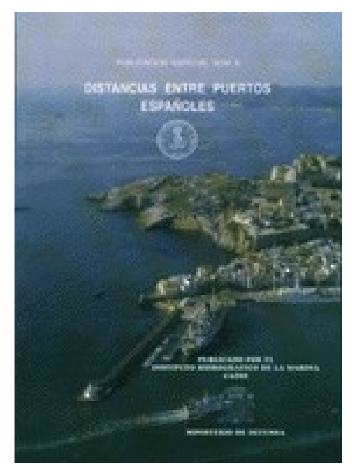
Periódicamente se publican impresos y en la Web los avisos y correcciones de las publicaciones náuticas oficiales de interés para el navegante, consta de las siguientes secciones:

SECCIÓN 1.– NOTAS EXPLICATIVAS
SECCIÓN 2.– AVISOS GENERALES
SECCIÓN 3.– AVISOS RELATIVOS A CARTAS NÁUTICAS
SECCIÓN 4.– CORRECCIONES A LAS PUBLICACIONES
- 4.1.– Correcciones a los Derroteros
- 4.2.– Correcciones a los Libros de Faros
- 4.3.– Correcciones a la publicación de Radioseñales

SECCIÓN 5.– RADIOAVISOS NÁUTICOS - NAVAREA
SECCIÓN 6.– NOTA HIDROGRÁFICA

Distancias entre puertos

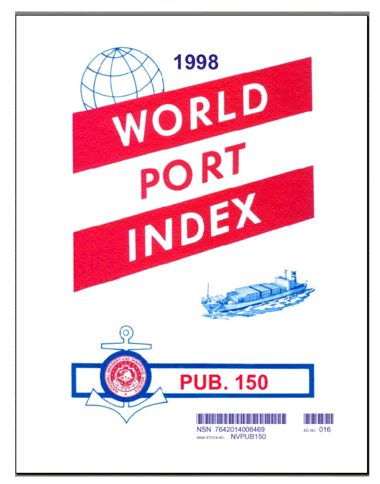
El Instituto Hidrográfico de la marina, España, publica el libro de distancias entre puertos españoles:



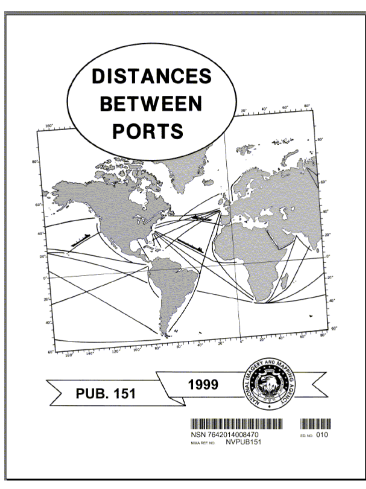
Distancias entre puertos españoles

- Relación de Puertos Principales
- Relación de Puertos Auxiliares
- Distancias desde los Puertos Principales a todos los Puertos Principales y Auxiliares
- Distancias desde los Puertos Auxiliares a los Puertos Principales más Próximos

Otros países publican documentación análoga:

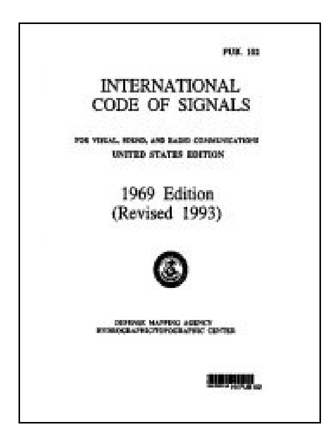


World Port Index - Pub. 150



Distances Between Ports - Pub. 151

Código Internacional de Señales



International Code of Signals - Pub. 102

Contiene el alfabeto, los números y las señales de socorro marítimas para utilizar en caso de emergencia

Reglamento de Balizamiento

IALA - International Association of Lighthouse Authorities

AISM - Asociación Internacional de Señalización Marítima

El contenido es:

- 1. Generalidades
- 2. Marcas laterales
- 3. Marcas cardinales
- 4. Marcas de peligro aislado
- 5. Marcas de aguas navegables
- 6. Marcas especiales
- 7. Peligros nuevos
- 8. Definicion de las regiones internacionales de balizamiento

En España, transpuesto en el Real Decreto 2391-1993 de 25 de Mayo

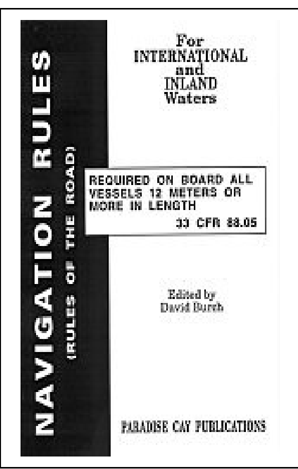
Reglamento Internacional para Prevenir los Abordajes en el Mar



Su contenido es el siguiente:

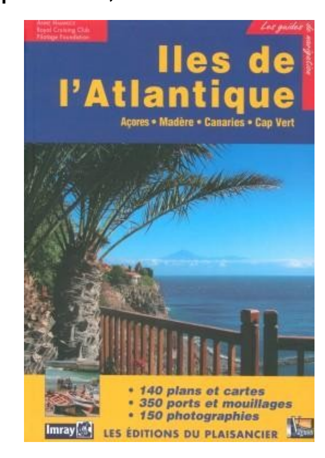
- PARTE A.- GENERALIDADES
- PARTE B.- REGLAS DE RUMBO Y GOBIERNO
- PARTE C.- LUCES Y MARCAS
- PARTE D.- SEÑALES ACÚSTICAS Y LUMINOSAS
- PARTE E.- EXENCIONES
- Anexo I.- Posición y características técnicas de las luces y marcas
- Anexo II.- Señales adicionales para buques de pesca que se encuentren pescando muy cerca unos de otros
- Anexo III.- Detalles técnicos de los aparatos de señales acústicas
- Anexo IV.- Señales de Peligro

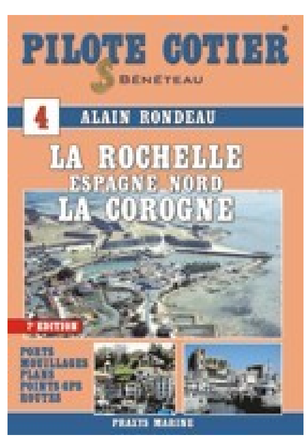




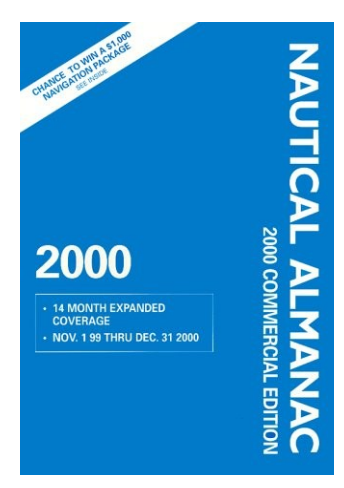
Guías náuticas para la navegación de recreo

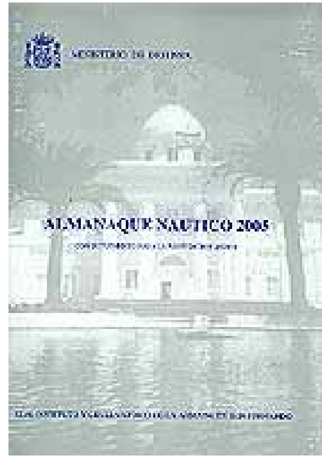
Existe gran variedad de guías para navegar por todos los mares del mundo, que incluyen información sobre sus costas, fondeos y puertos, visitas de interés turístico, etc.





El Almanaque Náutico





Contiene información diaria para cada hora UT, referente a las efemérides astronómicas

- GHA
- DEC
- HP / SD

Referente a:

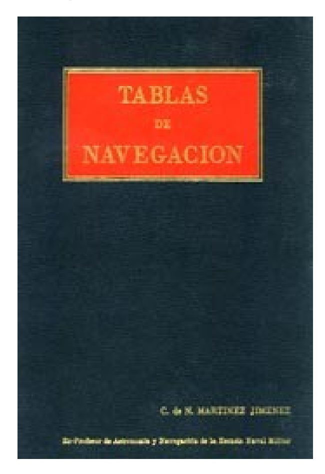
- El Sol
- La Luna
- Venus
- Marte
- Júpiter
- Saturno
- Las estrellas utilizadas en navegación
- Aries

Y demás información adicional:

- Fases de La Luna
- Salida y puesta del Sol y La Luna
- Eclipses
- …

Tablas náuticas

Existen gran variedad de tablas náuticas que tabulan los resultados de ecuaciones referentes a derrota, distancias, resolución del triangulo de posición, etc.





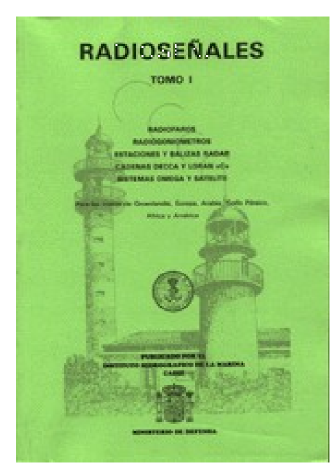


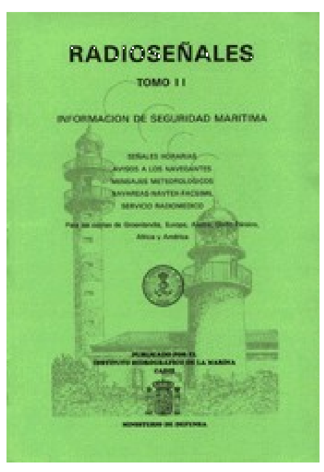
LAT 44°N

LHA ♈	Hc	Zn	Hc	Zn	Hc	Zn	Hc	Zn	Hc	Zn	Hc	Zn	Hc
	♦CAPELLA		ALDEBARAN		♦Diphda		FOMALHAUT		ALTAIR		♦VEGA		Koch
0	36 25	058	26 25	092	27 13	168	15 01	194	25 56	257	31 41	295	31 36
1	37 01	058	27 08	093	27 21	169	14 50	195	25 14	257	31 02	296	31 26
2	37 38	059	27 51	094	27 29	170	14 38	196	24 32	258	30 23	296	31 17
3	38 15	059	28 34	094	27 36	172	14 26	197	23 50	259	29 44	297	31 08
4	38 52	060	29 17	095	27 42	173	14 14	197	23 07	260	29 06	297	31 00
5	39 30	060	30 00	096	27 47	174	14 00	198	22 25	260	28 28	298	30 51
6	40 07	060	30 43	097	27 51	175	13 46	199	21 42	261	27 49	298	30 43
7	40 45	061	31 26	097	27 55	176	13 32	200	21 00	262	27 12	299	30 35
8	41 22	061	32 08	098	27 57	177	13 17	201	20 17	263	26 34	299	30 27
9	42 00	062	32 51	099	27 59	178	13 01	202	19 34	263	25 56	300	30 19
10	42 38	062	33 34	100	28 00	179	12 45	203	18 51	264	25 19	300	30 12
11	43 16	062	34 16	100	28 01	180	12 28	203	18 08	265	24 42	301	30 04
12	43 55	063	34 59	101	28 00	181	12 10	204	17 25	266	24 05	301	29 57
13	44 33	063	35 41	102	27 59	182	11 52	205	16 42	266	23 28	302	29 51
14	45 12	063	36 23	103	27 57	183	11 34	206	15 59	267	22 52	303	29 44
	♦CAPELLA		BETELGEUSE		RIGEL		♦Diphda		Enif		♦DENEB		Koch
15	45 50	064	16 47	096	12 32	115	27 54	184	35 46	246	45 16	295	29 38
16	46 29	064	17 30	097	13 11	115	27 50	185	35 06	247	44 37	296	29 31
17	47 08	065	18 12	097	13 50	116	27 46	187	34 27	248	43 58	296	29 25
18	47 47	065	18 55	098	14 29	117	27 40	188	33 46	249	43 19	297	29 20
19	48 26	065	19 38	099	15 07	118	27 34	189	33 06	250	42 41	297	29 14
20	49 06	066	20 20	100	15 45	119	27 27	190	32 25	251	42 03	297	29 09
21	49 45	066	21 03	100	16 23	119	27 20	191	31 44	252	41 24	298	29 04
22	50 24	066	21 45	101	17 00	120	27 11	192	31 03	252	40 46	298	28 59
23	51 04	067	22 28	102	17 38	121	27 02	193	30 22	253	40 08	299	28 54
24	51 44	067	23 10	103	18 14	122	26 52	194	29 41	254	39 30	299	28 50
25	52 23	067	23 52	103	18 51	123	26 41	195	28 59	255	38 53	299	28 46
26	53 03	068	24 34	104	19 27	123	26 29	196	28 18	256	38 15	300	28 42
27	53 43	068	25 16	105	20 03	124	26 17	197	27 36	256	37 38	300	28 38
28	54 23	068	25 57	106	20 38	125	26 04	198	26 54	257	37 00	301	28 34
29	55 04	069	26 39	106	21 13	126	25 50	199	26 12	258	36 23	301	28 31
	♦CAPELLA		BETELGEUSE		RIGEL		♦Diphda		Alpheratz		♦DENEB		Koch
30	55 44	069	27 20	107	21 48	127	25 36	200	63 17	245	35 46	301	28 28
31	56 24	069	28 01	108	22 23	128	25 20	201	62 38	247	35 10	302	28 25

Tablas para la navegación astronómica.

Libro de radioseñales





Instituto Hidrográfico de la marina. España

Proporciona la situación de las estaciones emisoras de señales para la navegación y las características de sus señales (frecuencia, alcance, hora de emisión, longitud de onda, potencia de la estación,...).

Tomo I:

- Radiofaros
- Radiogoniómetros
- Estaciones y Balizas Radar
- Cadenas Decca y Loran C
- Sistemas Omega y Satélite
- Zonas de las Costas de Groenlandia, Europa, Arabia, Golfo Pérsico, Africa y América

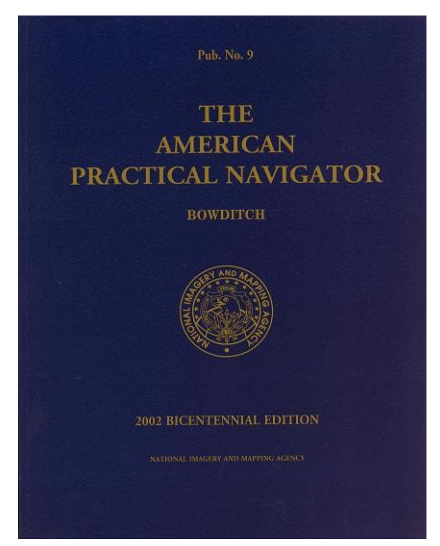
Tomo II:

- Señales Horarias
- Avisos a los Navegantes
- Mensajes Meteorológicos
- Navareas-Navtex-Facsímil
- Servicio Radiomédico
- Zonas de las Costas de Groenlandia, Europa, Arabia, Golfo Pérsico, Africa y América

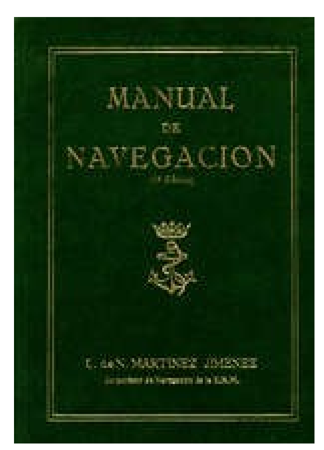
Manuales de navegación

Los libros generales sobre navegación son de gran utilidad al navegante, tanto para profundizar en un tema como para consulta.

Estados Unidos publica desde hace más de un siglo THE AMERICAN PRACTICAL NAVIGATOR, disponible gratis en la Web: Bowditch

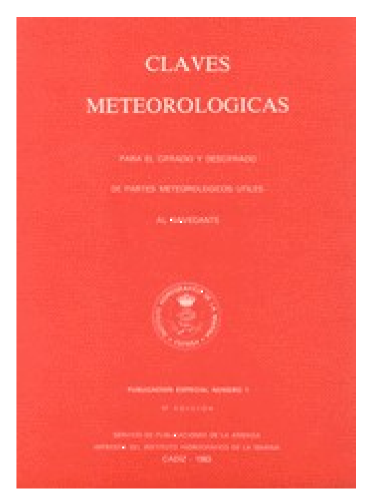


THE AMERICAN PRACTICAL NAVIGATOR (PUB. NO. 9)
Bowditch



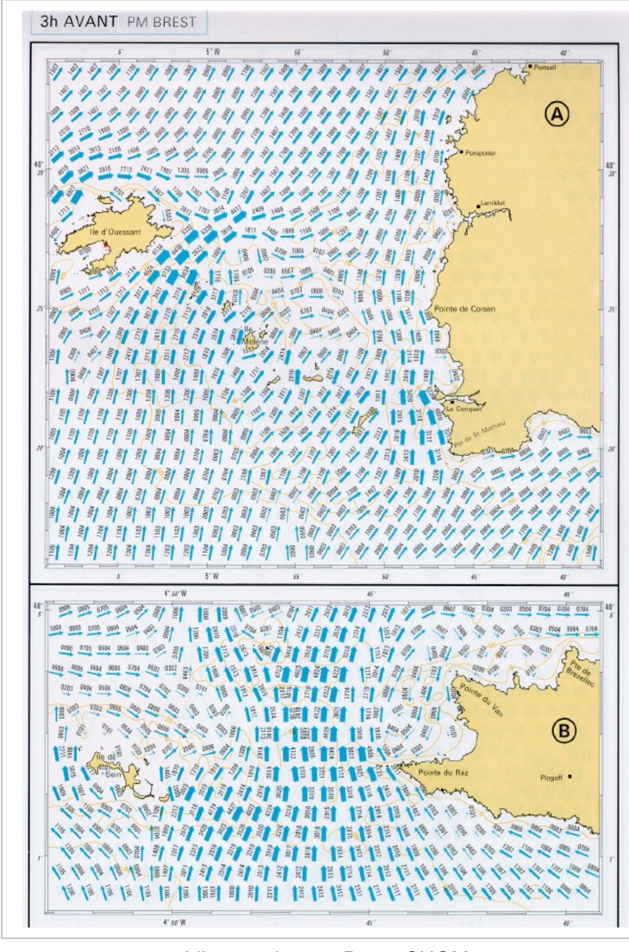
Manual de Navegación. Martínez Jiménez

Meteorología marítima



Claves Meteorológicas para el cifrado y descifrado de Partes Meteorológicos útiles al Navegante

Libros de corrientes



Libro corrientes, Brest. SHOM

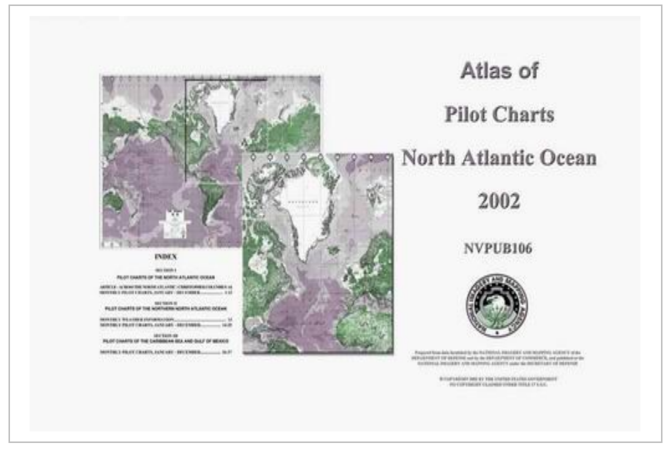
Contienen información sobre las corrientes: ubicación, intensidad horaria y rumbo. En Europa estan disponibles los de la zona de Brest, en Francia, y el canal de la Mancha.

Pilot charts

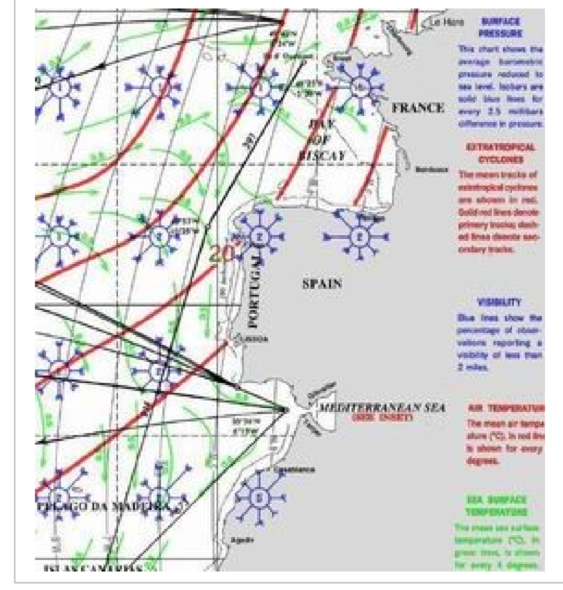
Publicados por la NGA de Estados Unidos y disponibles en la Web: Atlas of Pilot Charts, consta de cinco volúmenes:

- Pub. 105 - Atlas of Pilot Charts South Atlantic Ocean
- Pub. 106 - Atlas of Pilot Charts North Atlantic Ocean (including Gulf of Mexico)
- Pub. 107 - Atlas of Pilot Charts South Pacific Ocean
- Pub. 108 - Atlas of Pilot Charts North Pacific Ocean
- Pub. 109 - Atlas of Pilot Charts-Indian Ocean

Incluyen información para elegir la ruta más rápida y segura en función de las condiciones meteorológicas y del mar en cada mes del año.



Atlas of Pilot Charts North Atlantic Ocean



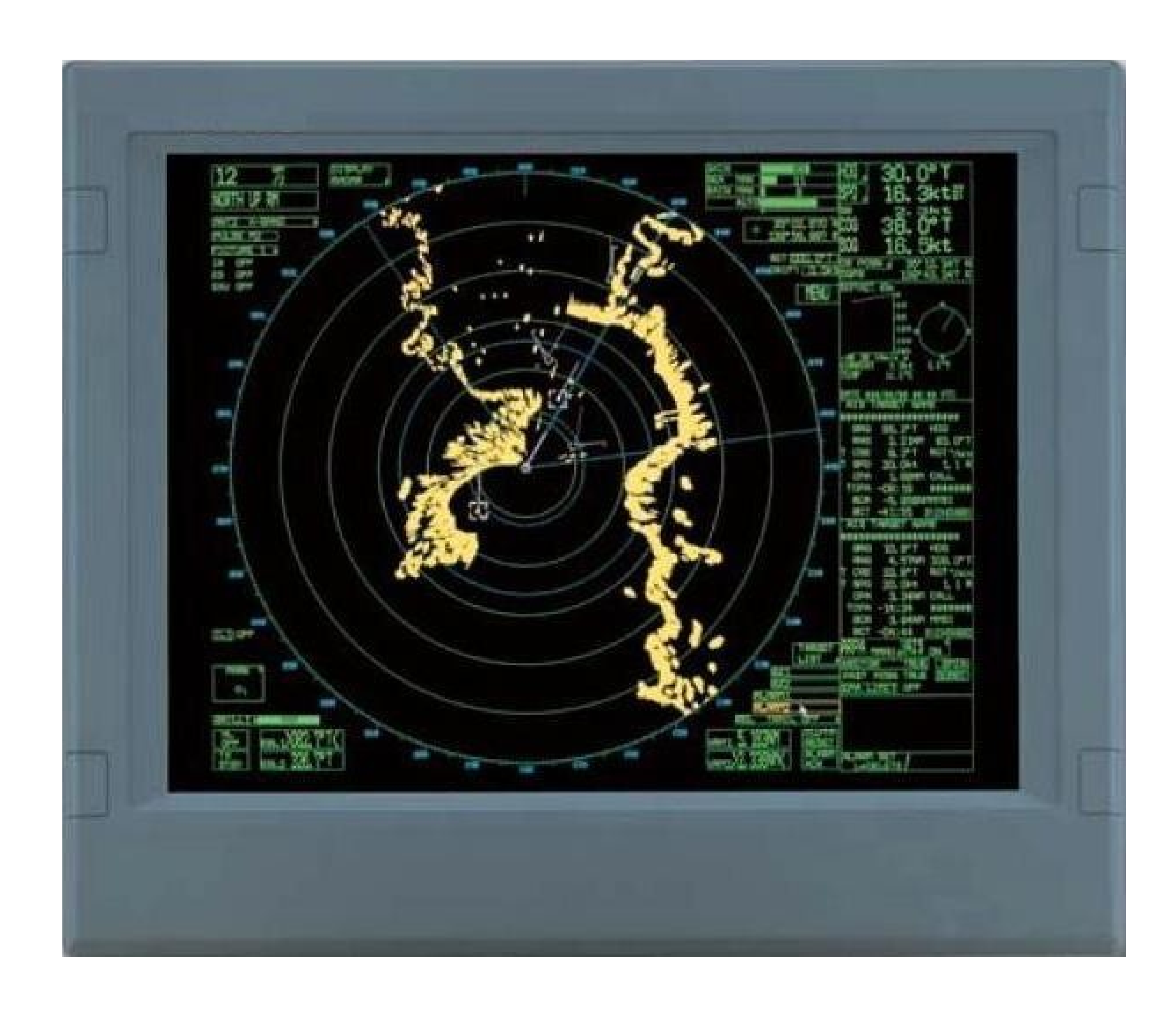
Pilot Chart. Detalle

Otras publicaciones

- Rosas de Maniobra
- Tablas de Azimutes
- Señales visuales de temporal y puerto
- Documentación oficial: El *cuaderno de bitácora*, y el *Diario de navegación*

NAVIGATIONAL ALGORITHMS

Cinemática Naval



Indice

Junio 2000
San Sebastián – Donostia
43º 19'N 002ºW

Versión: 200801

Movimiento absoluto y movimiento relativo

La cinemática es la parte de la mecánica clásica que estudia el movimiento de los cuerpos sin tener en cuenta las causas que lo producen limitándose, esencialmente, al estudio de la trayectoria en función del tiempo.

La **cinemática naval** estudia el movimiento relativo entre dos embarcaciones que evolucionan con sus respectivos rumbos y velocidades.

El **Movimiento absoluto** de una embarcación es el movimiento que esta sigue respecto al fondo de la mar o con relación a tierra firme. Su rumbo y velocidad serán verdaderos.

El **Movimiento aparente** o **relativo** es el que efectúa una embarcación vista desde otra, cuando cada una de ellas se mueve independientemente. Sus rumbos y velocidades serán relativos o aparentes.

Hipótesis en cinemática náutica

Para simplificar la resolución de los problemas planteados en cinemática náutica se hacen las siguientes hipótesis:

- Movimiento rectilíneo uniforme. Los barcos se mueven siguiendo derrotas rectas y a velocidad uniforme, V = cte. Se d*esprecian los cambios de rumbo o guiñadas y frenazos o acelerones debidos a las olas*.
- El cambio de rumbo tiene lugar instantáneamente y ocurre sobre el eje que pasa por el centro de gravedad de la embarcación; se desprecia la existencia de la *curva de evolución* en el giro del barco.
- Los cambios de velocidad son instantáneos.

El vector velocidad

la velocidad de un móvil es una magnitud vectorial. Debe considerarse no sólo la distancia que recorre por unidad de tiempo, es decir su velocidad, sino también la dirección y el sentido del desplazamiento.

$$\vec{V}$$

- Magnitud, módulo o intensidad. V = d/t
- Dirección y sentido*, en navegación definidos por el rumbo.*

Movimiento relativo de otro buque

La posición relativa de un buque B respecto de otro A, queda determinada por la demora y la distancia de A a B.

El problema de dos barcos moviéndose con respecto al fondo con velocidades $\vec{V}_A$ y $\vec{V}_B$, se reduce a otro en el que nuestro barco A no se mueve y el barco B se mueve respecto a nosotros con velocidad $\vec{V}_r$

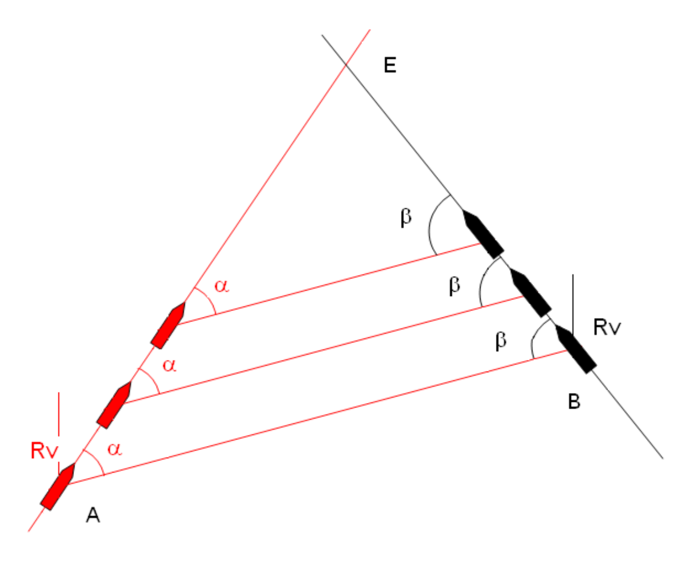
$$\vec{V}_r = \vec{V}_B - \vec{V}_A$$

La ecuación vectorial del movimiento relativo, en el plano 2D, relaciona 6 variables, y permite calcular 2 incógnitas, de forma gráfica o analítica, conocidas las otras 4 variables.

El vector $\vec{V}_r$ ó $\vec{V}_{B/A}$ describe el movimiento aparente de B respecto de A. La velocidad con la que el barco B se mueve respecto al barco A. O lo que es lo mismo; la velocidad con que vemos moverse al barco B, desde el A.

Su módulo Vr, es la velocidad en nudos con la que el barco B se mueve con respecto a nosotros.

El movimiento relativo del barco B es el que determinará si existe riesgo de colisión con él y, por tanto, si se ha de efectuar alguna maniobra de evasión.



Rumbo de colisión entre los buques A y B

La **derrota relativa** o **indicatriz del movimiento relativo**, es la dirección definida por el vector Vr.

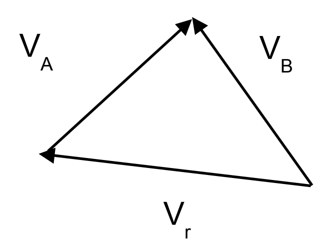
- Si esta derrota pasa por el punto A se lleva **rumbo de colisión** con el barco B.
- Si no pasa por A, la **mínima distancia** a la que pasaremos del barco B es la definida por la perpendicular a la derrota relativa que pase por nuestro barco A

Triángulo de velocidades

Es el triángulo formado por los tres vectores que intervienen en la ecuación del movimiento relativo:

$$\vec{V}_r = \vec{V}_B - \vec{V}_A$$

	Vector	Módulo	Sentido
Velocidad del buque propio	$\vec{V}_A$	V_A	R_A
Velocidad del otro buque	$\vec{V}_B$	V_B	R_B
Velocidad relativa de B respecto a A	$\vec{V}_r$	V_r	R_r



El viento y la corriente

El movimiento relativo de un buque respecto a otro no cambia si ambos se ven sometidos a un mismo movimiento común debido, por ejemplo, a la existencia de una corriente en la zona.

En la ecuación vectorial del movimiento relativo, $\vec{V}_r = \vec{V}_B - \vec{V}_A$ los rumbos de los buques A y B, son los rumbos verdaderos corregidos por abatimiento si existe viento; rumbos de superficie. Pero no se tendrá en cuenta la corriente si esta existiese.

En cambio, en el estudio del movimiento absoluto, si debe ser tenida en cuenta la corriente.

Problemas

Se consideran los siguientes tipos de cálculos en cinemática naval:

¿? Incógnita

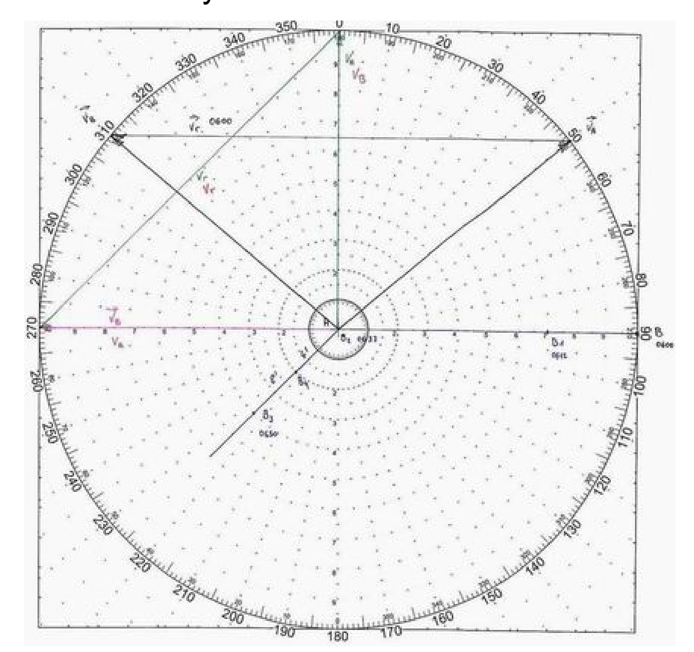
Problema	V_A		V_B		V_r	
Movimiento relativo de otro buque	R_A	V_A	R_B	V_B	**R_r**	**V_r**
Instante en que otro buque se encontrará a una distancia d de nosotros	R_A	V_A	R_B	V_B	**R_r**	**V_r**
Instante en que otro buque nos pasa por la proa	R_A	V_A	R_B	V_B	**R_r**	**V_r**
Rumbo y velocidad de otro buque conocido su movimiento relativo	R_A	V_A	**R_B**	**V_B**	R_r	V_r
Alcance de un buque en el menor tiempo posible	**R_A**	V_A	R_B	V_B	R_r	**V_r**
Alcance de un buque sin variar nuestro rumbo	R_A	**V_A**	R_B	V_B	R_r	**V_r**
Alcance de un buque en un tiempo determinado	**R_A**	**V_A**	R_B	V_B	R_r	V_r
Rumbo para pasar a una distancia determinada de otro buque	**R_A**	V_A	R_B	V_B	R_r	**V_r**

En las figuras se utilizan distintos colores para dibujar:

- Negro: velocidad $\vec{V}$
- Rojo: ¿incógnitas?
- Azul: posición, distancias

La rosa de maniobra

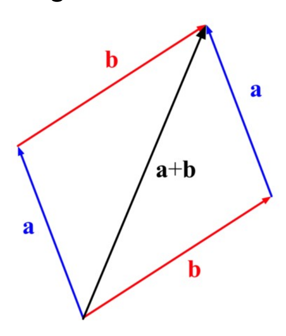
Consiste en una circunferencia graduada con los rumbos y distintas escalas para las velocidades y distancias.



Es utilizada para resolver de forma grafica los problemas de cinemática:

- **Distancias**. Se supone el buque propio, A, fijo en el centro de la rosa de maniobras. Las distintas posiciones relativas de B están localizadas sobre la derrota relativa definida por $\vec{V}_r$
- **Velocidades**. Se resuelve la ecuación vectorial del movimiento relativo para las dos incógnitas del problema.
- **Tiempos**: $t = d_r/V_r$

La suma gráfica de vectores se efectúa como se indica en la figura:



En cinemática RADAR, se emplea para dibujar, (*puntear*), las distintas demoras y distancias a otro buque, obtenidas a lo largo de un intervalo de tiempo, a partir de una posición inicial, y poder estudiar su movimiento.

Posiciones absolutas correspondientes a una determinada posición relativa

Datos / Incógnitas

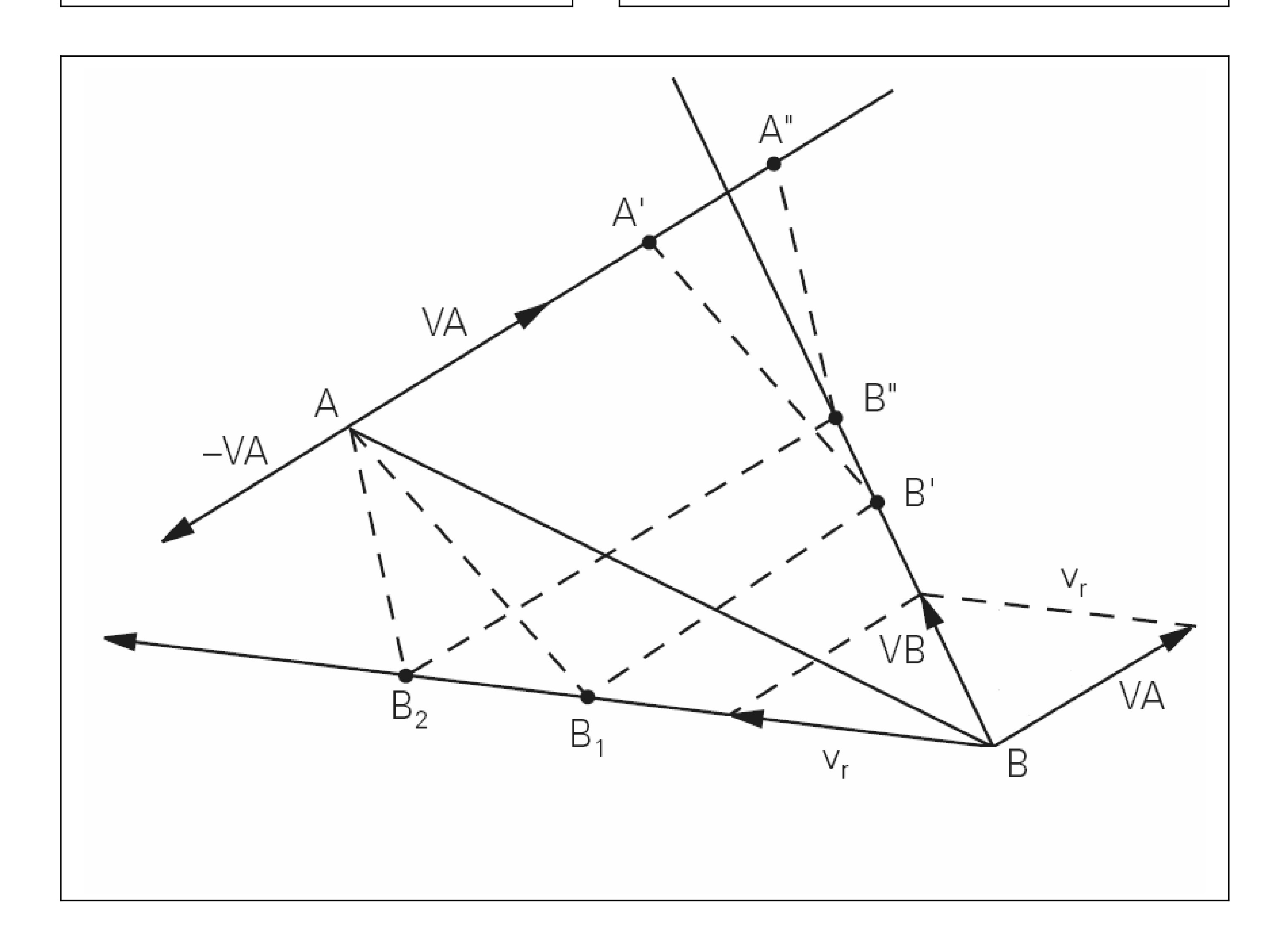
- Posición absoluta del buque A y B
- Movimiento relativo: B1, B2
- ¿Posiciones absolutas de A y B, correspondientes a esos instantes de tiempo?

Cálculos

- $R_r = B_1 B_2$ = Derrota relativa
- $V_r = B_1B_2/(t_2-t_1)$
- $\vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{V}_r$

Posiciones absolutas correspondientes al instante B_1:

- [B_1 // R_A] ∩ derrota B = B'
- [B' // D_{AB1}] ∩ derrota A = A'



Rumbo y velocidad de otro buque conocido su movimiento relativo

Cinemática RADAR

El RADAR proporciona las posiciones relativas de B:

- $B_1(t_1) = (D_{AB}(t_1), d_{AB}(t_1))$
- $B_2(t_2) = (D_{AB}(t_2), d_{AB}(t_2))$

Conociendo el movimiento de nuestro buque y el movimiento relativo de otra embarcación respecto a nosotros, es posible calcular las posiciones del otro buque a una hora determinada, o al encontrarse en una demora o distancia dada.

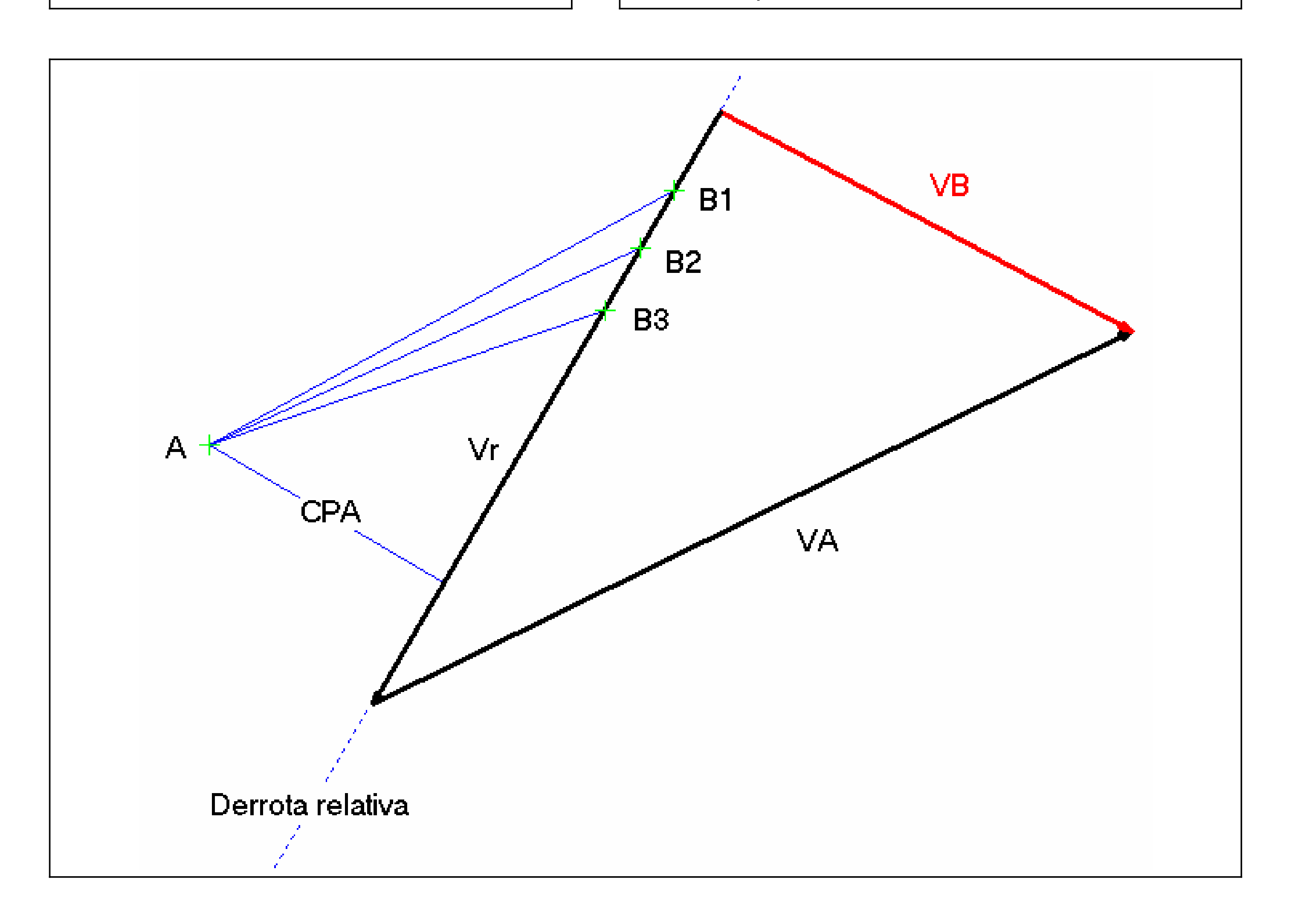
Datos / Incógnitas

R_A	V_A
R_B	V_B
R_r	V_r

Cálculos

- $R_r = B_1 B_2$ = Derrota relativa
- $V_r = B_1B_2/(t_2-t_1)$
- $\vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{V}_r$

CPA = ⊥ por A a la indicatriz = d_{min}



Instante en que otro buque se encontrará a una distancia d de nosotros

Datos / Incógnitas

- Posición de B respecto de A: (D_{AB}, d_{AB})
- d

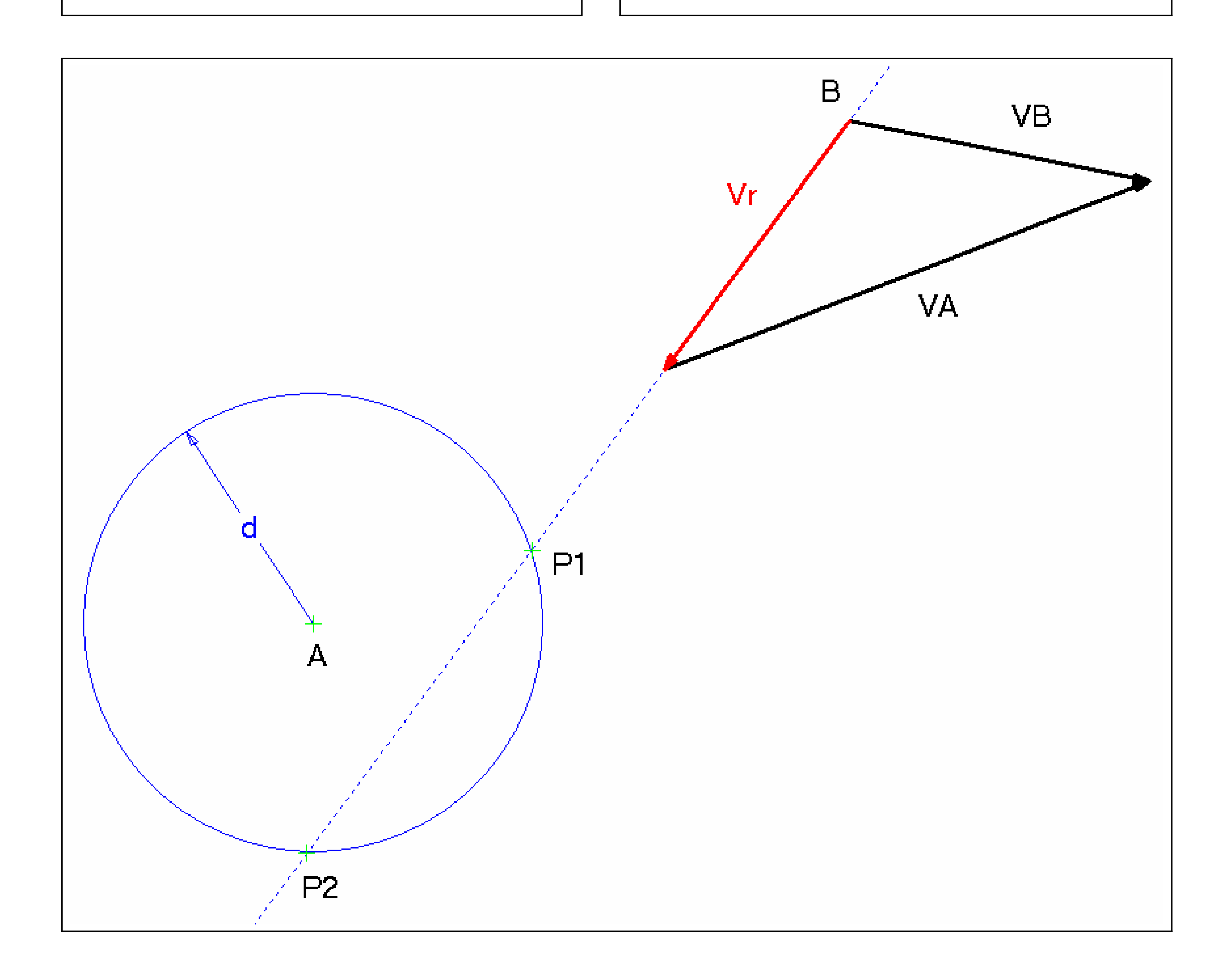
R_A V_A

R_B V_B

R_r V_r

Cálculos

- $\vec{V}_r = \vec{V}_B - \vec{V}_A$
- $t_c = BP1 / V_r$
- 2 soluciones: P1 y P2



Instante en que otro buque nos pasa por la proa

Datos / Incógnitas

- Posición de B respecto de A: (D_{AB}, d_{AB})

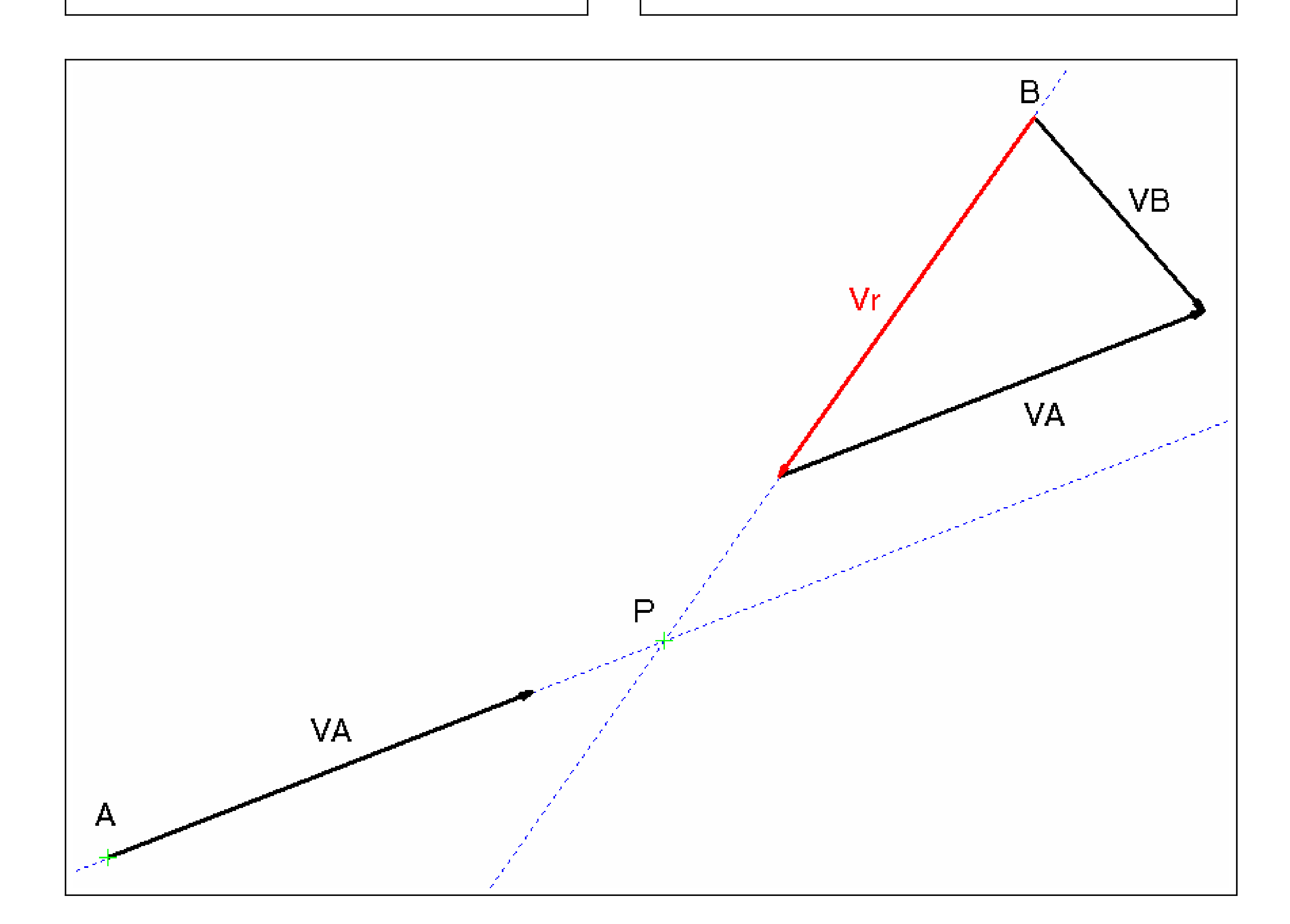
R_A V_A

R_B V_B

R_r V_r

Cálculos

- Dirección requerida: proa, popa, través, MAB
- $\vec{V}_r = \vec{V}_B - \vec{V}_A$
- Rr = indicatriz
- P = $\vec{V}_r$ por B ∩ $\vec{V}_A$ por A
- t = BP / Vr



Alcances

Para dar alcance a un buque de situación, rumbo y velocidad conocidos, hay que maniobrar de forma que la demora, $D_{AB,}$ del otro buque no varíe, y que la distancia entre ambos vaya disminuyendo.

La posición de A esta incluida en la derrota relativa definida por $\vec{V}_r$, y el rumbo propio, R_A, recibe el nombre de *rumbo de colisión*.

En este tipo de problemas se conoce, (*Previamente calculada por cinemática RADAR*):

- Posición de B
- RB y VB
- $Rr = D_{AB} = D_{B/A}$ = indicatriz del movimiento relativo

Se dan situaciones en las que la maniobra de alcance no es premeditada. Cuando la demora se mantiene y la distancia disminuye, existe riesgo de colisión. La forma de actuar cuando se determina una situación de riesgo de abordaje es la siguiente:

Evasión variando el rumbo

La maniobra, que en la mayoría de las ocasiones, será caer a estribor, se realizará con el tiempo suficiente para evitar el siniestro, calculando en primer lugar el nuevo rumbo relativo que le queremos dar a la embarcación B. La velocidad se mantiene.

Evasión variando la velocidad

Se altera solamente la velocidad. El rumbo se mantiene.

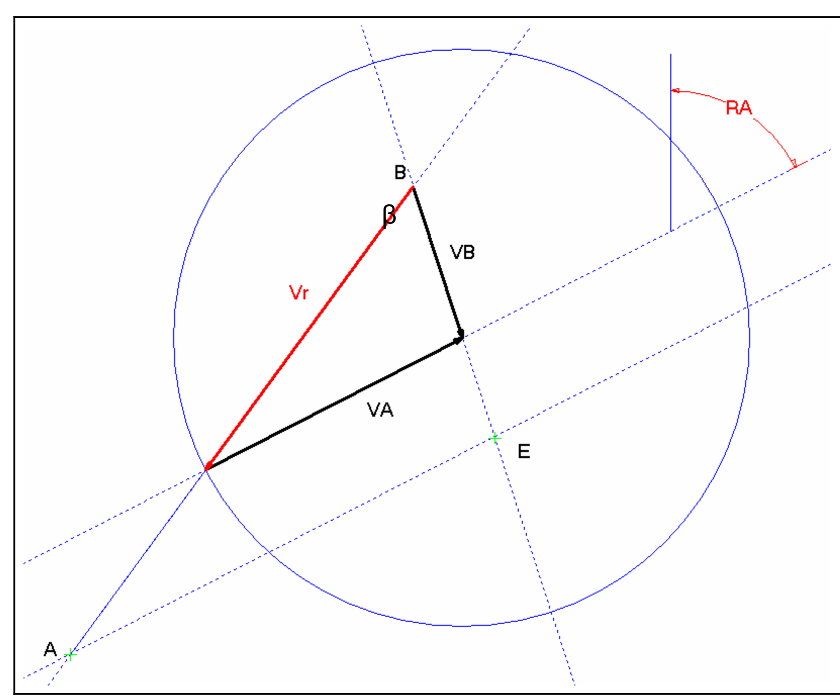
En cada caso se ha de determinar que es lo más adecuado.

Alcance de un buque en el menor tiempo posible

Datos / Incógnitas	
• Posición inicial de A y B	
• Posición de B respecto de A: (D_{AB}, d_{AB})	
R_A	V_A
R_B	V_B
Rr	Vr

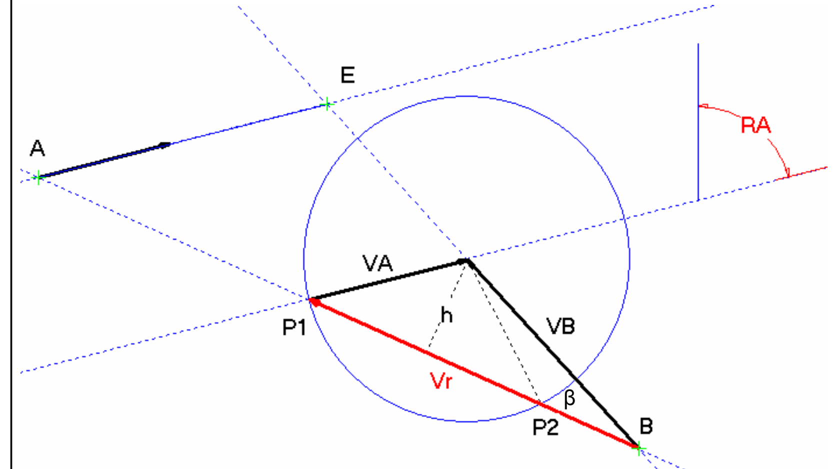
Cálculos

- R_r = BA
- Circunferencia de radio V_A por el extremo de V_B
- $R_A = R_{colision}$
- t = BA / Vr *tiempo de alcance*



Aspecto: marcación de B al buque A, ángulo β. Es la apariencia con que B se ve desde A

Si β >= 90º la derrota de A y B son paralelas: Vr = 0 y el alcance se da en el infinito.



Condiciones para que existe solución:

- $V_A > V_B$ siempre
- $V_A = V_B$ si β < 90º
- $V_A < V_B$ si β < 90º y $V_A \geq h$
  - $V_A = h$ $R_A \perp R_r$ V_A = min
  - $V_A > h$ 2 soluciones
    - P1 V_r = max t = min
    - P2 V_r = min t = max

Alcance de un buque sin variar nuestro rumbo

Datos / Incógnitas

- Posición inicial de A y B
- Posición de B respecto de A: (D_{AB}, d_{AB})

R_A	 V_A
R_B	V_B
Rr	Vr

Cálculos

Existe solución si ambas derrotas son convergentes.

- Rr = BA
- RA = $R_{colisión}$
- Paralela a R_A, por el extremo de V_B
- E = derrota A ∩ derrota B (*absolutas*)
- t = BA/Vr = AE/VA = BE/VB

Se debe cumplir: $V_A <= V_{propulsora}$

B
VB
Vr
VA
E
A

Alcance de un buque en un tiempo determinado

Datos / Incógnitas

- Posición inicial de A y B
- Posición de B respecto de A: (D_{AB}, d_{AB})
- t

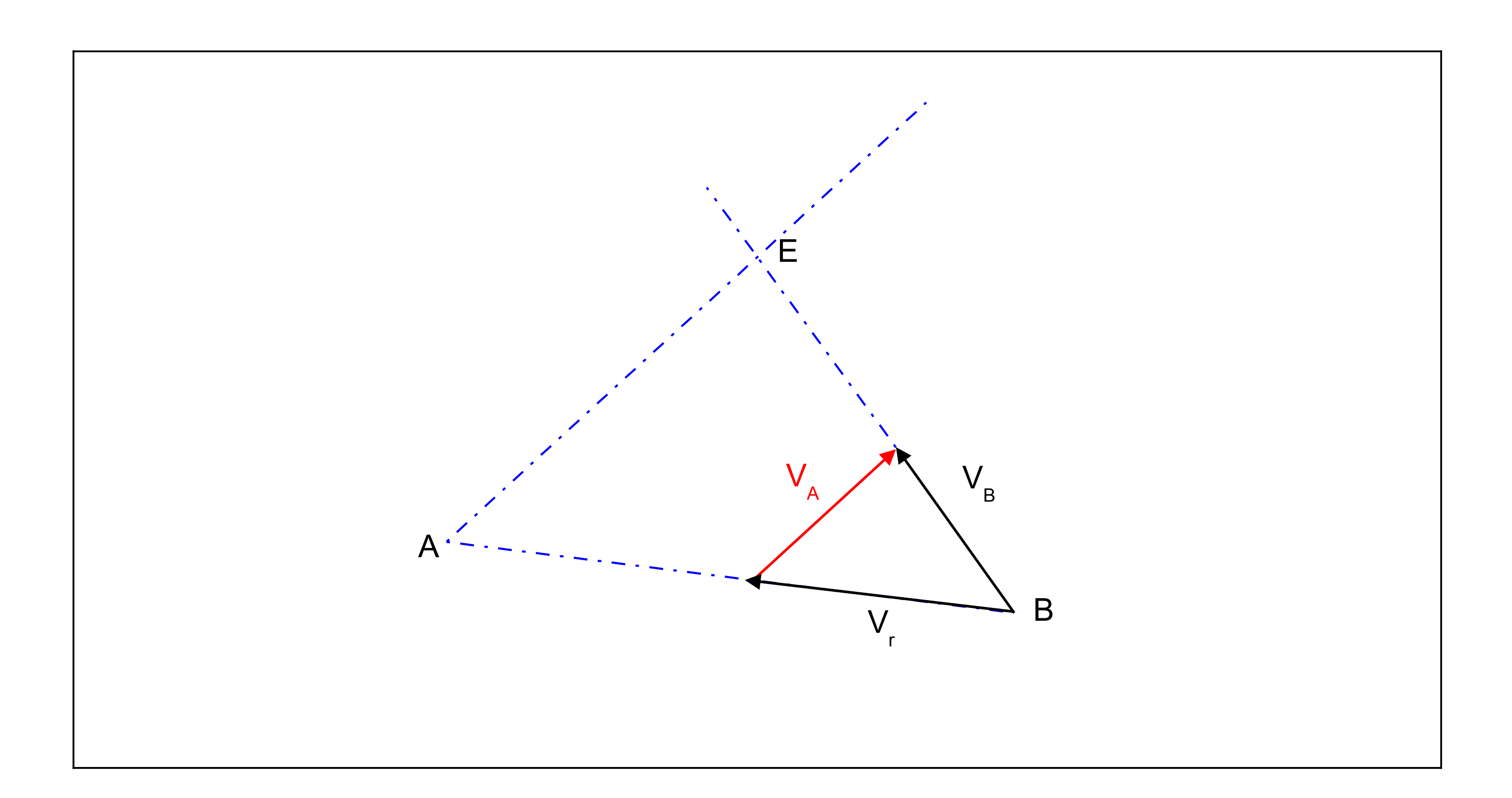
R_A	V_A
R_B	V_B
R_r	V_r

Cálculos

- Rr = BA
- Vr = BA / t
- $\vec{V}_A = \vec{V}_B - \vec{V}_r$

E: punto de encuentro de los dos buques

Se debe cumplir: $V_A \le V_{propulsora}$



Rumbo para pasar a una distancia determinada de otro buque

Datos / Incógnitas

- Posición inicial de A y B
- Posición de B respecto de A: (D_{AB}, d_{AB})
- d

 V_A

R_B V_B

R_r 

Cálculos

Para estudiar el movimiento supóngase que VA=0, y que B se mueve con VB=Vr, y pasa a una distancia d de A.

Con d = 0, es un problema análogo al del alcance

- R_r = Indicatriz = B, tg(circulo d por A) ó
- R_r = Indicatriz = A, tg(circulo d por B)

- 2 soluciones P1 y P2 para R_r V_r y R_A
  (Para t = min tomar la Vr = max)

d
A
B pasa por la popa de A
P1
P2
Vr
B
B pasa por la proa de A
VA
VB
d
A
d
B

Cinemática RADAR

El RADAR

El término RADAR deriva del acrónimo inglés **RA**dio **D**etection **A**nd **Ranking**, (detección y medición de distancias por radio). Es un sistema que usa ondas electromagnéticas para medir distancias, altitudes, direcciones y velocidades de objetos estáticos o móviles como aeronaves, barcos, vehículos motorizados, formaciones meteorológicas y el propio terreno. Su funcionamiento se basa en emitir un impulso de radio, que se refleja en el objetivo y se recibe en la misma posición del emisor. A partir de este eco se extrae gran cantidad de información.

En navegación se utiliza para **evitar colisiones** en situaciones de tráfico denso, con visibilidad reducida, con niebla, o de noche; *(SOLAS y Reglamento Internacional para Prevenir Abordajes)*. Sus funciones principales son:

- Detección de objetos: costa, embarcaciones, obstáculos,…
- Obtención de líneas de posición: distancia y demora.
- Obtención de información acerca del movimiento de los buques cercanos.

Punteo en movimiento relativo

La técnica por la que se extrae, procesa y analiza la información obtenida de RADAR se conoce como *plotting* o *punteo*.

Para cálculos cinemáticos el RADAR se utiliza generalmente en:

- Movimiento relativo: El barco aparece fijo en el centro de la pantalla
- Norte arriba: la pantalla no cambia con el rumbo, (*Es necesario que este conectado a una aguja giroscópica*).

Se utiliza la siguiente sintaxis:

- **WO**: *Way Own Ship* = $\vec{V}_A$
- **WA**: *Way Another Ship* = $\vec{V}_B$
- **OA**: *Origin Apparent motion* = $\vec{V}_r$
- **CPA**: *Closest Point of Approach* - mínima distancia a la que la embarcación B pasará de A.
- **TCPA**: *Time to CPA* - intervalo de tiempo en el que el buque B estará a la mínima distancia.

La información obtenida es: velocidad aparente del eco, velocidad absoluta del eco, naturaleza del eco, marcación y distancia del eco, CPA, TCPA.

Efectos de la maniobra del buque propio

Suponiendo que no varía el movimiento real de los ecos; WA se mantiene, se pueden dar dos situaciones en donde el triángulo de velocidades se altera cambiando la derrota aparente de los ecos:

Cambio de rumbo

El vector WO gira respecto al punto W

Cambio de velocidad

El punto O se traslada según WO.

RADAR ARPA

Automatic RADAR plotting Aid

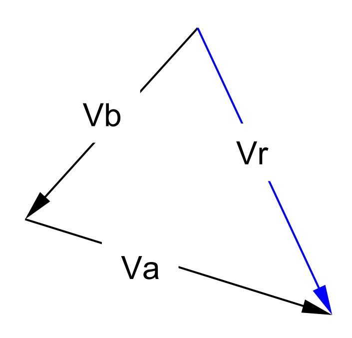
Este tipo de sistemas proporcionan de forma automática las velocidades absolutas y relativas de los ecos percibidos en pantalla, así como los distintos CPA y TCPA. Están provistos de diversas alarmas acústicas y ópticas que se activan cuando un eco invade el círculo de seguridad definido para el buque propio (diámetro > 3 mn).

Otros cálculos cinemáticos

Viento real y viento aparente

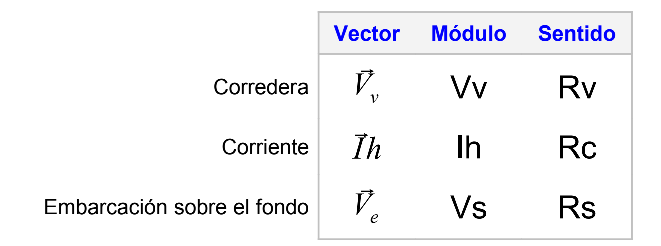
	Vector	Módulo	Sentido
Viento real	$\vec{V}_r$	Vr	Rr
Viento aparente	$\vec{V}_{ap}$	V_{ap}	R_{ap}
Velocidad de la embarcación	$\vec{V}_b$	Vb	Rb

$$\vec{V}_r = \vec{V}_{ap} + \vec{V}_b$$



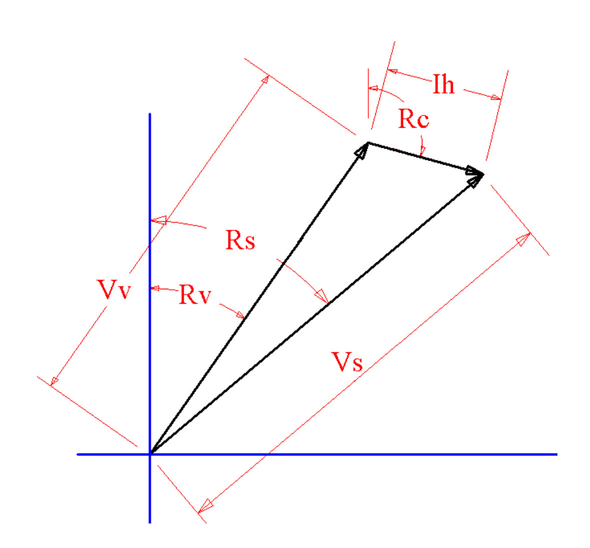
El viento aparente es el medido a bordo de la embarcación.

Corrientes marinas



	Vector	Módulo	Sentido
Corredera	$\vec{V}_v$	Vv	Rv
Corriente	$\vec{I}h$	Ih	Rc
Embarcación sobre el fondo	$\vec{V}_e$	Vs	Rs

$$\vec{V}_e = \vec{V}_v + \vec{I}h$$



La corriente se caracteriza por:

- Ih – Intensidad horaria
- Rc – rumbo de la corriente

Bibliografía

Artículos

- Deviation curve of magnetic compass. 1999, Andrés Ruiz González, Navigational Algorithms http://sites.google.com/site/navigationalalgorithms/
- Corrections for Sextant Altitude. 1999, Andrés Ruiz González, Navigational Algorithms http://sites.google.com/site/navigationalalgorithms/
- Sight Reduction with calculator Form & Plotting sheet for celestial LoPs. 2008, Andrés Ruiz González, Navigational Algorithms http://sites.google.com/site/navigationalalgorithms/
- Celestial Fix - 2 LoPs. 1999, Andrés Ruiz González, Navigational Algorithms http://sites.google.com/site/navigationalalgorithms/
- Celestial Fix - n LoPs NA Sight Reduction algorithm. Paper & Excel. 1999, Andrés Ruiz González, Navigational Algorithms http://sites.google.com/site/navigationalalgorithms/
- Vector equation of the Circle of Position. 2006, Andrés Ruiz González, Navigational Algorithms http://sites.google.com/site/navigationalalgorithms/
- Vector Solution for the Intersection of Two Circles of Equal Altitude. Andrés Ruiz González. The Journal of Navigation, Volume 61, Issue 02, April 2008, pp 355-365
- Sight Reduction - Matrix solution. Paper & Excel. 2006, Andrés Ruiz González, Navigational Algorithms http://sites.google.com/site/navigationalalgorithms/
- The Sailings. 1999, Andrés Ruiz González, Navigational Algorithms http://sites.google.com/site/navigationalalgorithms/
- Use of rotation matrices to plot a circle of equal altitude. Journal of Maritime Research Volume 8, Number 3. 2011. ISSN: 1697-4840. Andrés Ruiz González.
- Van Allen, J. A., An Analytical Solution of the Two Star Sight Problem of Celestial Navigation, NAVIGATION, Journal of The Institute of Navigation, Vol. 28, No. 1, Spring 1981, pp. 40-43.
- Applications of Complex Analysis to Celestial Navigation. Robin G. Stuart
- Kaplan, G. H. (1995). Practical Sailing Formulas for Rhumb-Line Tracks on an Oblate Earth, Navigation, Vol. 42, No. 2, pp. 313-326.
- Kaplan, G. H. (1995). Determining the Position and Motion of a Vessel from Celestial Observations, Navigation, Vol. 42, No. 4, pp. 631-648. http://aa.usno.navy.mil/publications/docs/reports PDF (113K) or PostScript (100K).
- Kaplan, G. H. (1996). The Motion of the Observer in Celestial Navigation, *Navigator's Newsletter*, Issue 51 (Spring 1996), pp. 10-14.
- Kaplan, G. H. (1996). A Navigation Solution Involving Changes to Course and Speed, *Navigation*, Vol. 43, No. 4, pp. 469-482.
- Kaplan, G. H. (1999). New Technology for Celestial Navigation, to be published in the Proceedings of the Nautical Almanac Office Sesquicentennial Symposium.

- Metcalf and Metcalf. On the Overdetermined Celestial Fix, NAVIGATION, Vol. 38, No. 1, Spring 1991, pp 79-89.
- Metcalf, T. R. Advancing Celestial Circles of Position, NAVIGATION, Vol. 38, No. 3, Fall 1991, pp 285-288.
- Metcalf, T. R. An Extension to the Overdetermined Celestial Fix, NAVIGATION, Vol. 39, No. 4, Winter 1992-93, pp. 477-480.
- Metcalf T.R. and Metcalf F.T. Piloting with Celestial Algorithms, NAVIGATION, Vol. 41, No. 2, Summer 1994, pp 207-214.
- Optimal Estimation of a Multi-Star Fix, C. De Wit. NAVIGATION, Vol.21, No. 4, Winter 1974-75, pp 320-325.
- Low-Precision Formulae for Planetary Positions, Van Flandern T. C., Pulkkinen, K. F. (1979) , 1979, Astrophysical Journal Supplement Series, Vol. 41, pp. 391-411.
- Watkins. R. and Janiczek. P. M., Sight Reduction with Matrices, NAVIGATION, Journal of The Institute of Navigation, Vol. 25, No. 4, Winter 1978-79, pp. 447-48
- Robert W. Severance. OVERDETERMINED CELESTIAL FIX BY ITERATION. IoN Vol. 36, No. 4, 1989
- Computer sight reduction based on intersection of equal altitude circles. R. W. Flynn. Ion vol. 19, no. 1, 1972
- Position From Observation Of A Single Body. James N. Wilson. Navigation IoN Vol. 32, No. 1, 1985
- Celestial Fix - 2 LoP analytic solution. 1999, Andrés Ruiz González, Navigational Algorithms http://sites.google.com/site/navigationalalgorithms/
- A Vector Solution for Navigation on a Great Ellipse. Michael A. Earle. Journal of Navigation, Volume 53, Issue 03, September 2000, pp 473-481
- A Novel Approach to Great Circle Sailings: The Great Circle Equation. Chih-Li Chen, Tien-Pen Hsu and Jiang-Ren Chang. Journal of Navigation, Volume 57, Issue 02, May 2004, pp 311-320
- Vector Solutions for Great Circle Navigation. Michael A. Earle. Journal of Navigation, Volume 58, Issue 03, September 2005, pp 451-457
- The Vector Function for Distance Travelled in Great Circle Navigation. Wei-Kuo Tseng and Hsuan-Shih Lee. Journal of Navigation, Volume 60, Issue 01, January 2007, pp 158-164
- Building the Latitude Equation of the Mid-longitude. Wei-Kuo Tseng and Hsuan-Shih Lee. Journal of Navigation, Volume 60, Issue 01, January 2007, pp 164-170.

Navegación

- Manual de Navegación. Martínez Jiménez, Enrique, 1978. ISBN: 84-400-5327-4
- The American Practical Navigator. BOWDITCH, Nathaniel. 1995. Pub. Nº9, DMA.
- The American Practical Navigator. Bowditch. 2000. http://pollux.nss.nima.mil/pubs
- Navigation and Piloting. Dutton. 14th ed. ISBN: 0-87021-157-9
- Navegación Costera. Pablo Bernardos de la Cruz, Francisco Jóse Correa Ruiz. Paraninfo, 1990. ISBN: 84-283-1759-3
- Admiralty Manual of Navigation, Volume 1, BR 45 (1), General, Coastal Navigation and Pilotage. 1987-2006, TSO London. ISBN: 978-0-11-772880-6
- Admiralty Manual of Navigation, Volume 2, BR 45 (2), Astro Navigation. 2004, TSO London. ISBN: 1-870077-65-2
- Navegación y Astronomía. Moreu Curbera y Matínez Jiménez
- La calculadora a bordo. Ignacio Barbudo Escobar. Fragata, 1983 ISBN:978-84-398-0065-1
- Astronomía náutica y navegación I y II. Fausto Castelló Mora
- Astronomía náutica y navegación. Moreu Curbera
- Astronomical Algorithms. by Jean Meeus, 2 Ed edition (December 1998). ISBN: 0943396638
- Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac. USNO.
- La navigation astronomique. Foundements, applications, perspectives. Philippe Bourbon, 2000. ISBN: 2-903581-24-X
- Compact Data for Navigation and Astronomy for the Years 1991-1995, Cambridge University Press ISBN 0-521-38731-0. Yallop B. D. and Hohenkerk C. Y. (1991).
- Compact Data for Navigation and Astronomy for 1996 to 2000. ISBN 0-11-772467-X. Yallop B. D. and Hohenkerk C. Y. (1995), The Stationery Office.
- NavPac and Compact Data 2001–2005. ISBN 011-887311-3. HM Nautical Almanac Office. Stationery Office.
- NavPac and Compact Data 2006–2010. ISBN 011-887331-8. HM Nautical Almanac Office. Stationery Office.
- The Nautical Almanac. USNO
- Cinemática náutica. E. García, A. C. Bermejo, A. J. Poleo
- Patrones y capitanes de yate. Augustin Anabitarte. Itxaropena, Zarautz, 1970.
- Manual del patrón de embarcaciones deportivas. Augustin Anabitarte. Editorial Donostiarra, Donostia, 1970.

- Manual del patrón de yate: vela y motor. Augustin Anabitarte. Editorial Donostiarra, Donostia, 1972.
- Navegação: A Ciência e a Arte - Volume I - NAVEGAÇÃO ESTIMADA, COSTEIRA E EM ÁGUAS RESTRITAS
- Navegação: A Ciência e a Arte - Volume II - NAVEGAÇÃO ASTRONÔMICA E DERROTAS
- Navegação: A Ciência e a Arte- Volume III - NAVEGAÇÃO ELETRÔNICA E EM CONDIÇÕES ESPECIAIS. Marinha do Brasil. Diretoria de Hidrografia e Navegaçã https://www.mar.mil.br/dhn/bhmn/publica_manualnav.html
- A short guide to Celestial navigation Henning Umland. http://www.celnav.de/

Distancias lunares

- The Lunar Distance Method. *The Institute of Navigation*, ION Newsletter, Volumen 14, Nº 1 (spring 2004) http://www.ion.org/newsletter/v14n1.pdf
- LUNAR DISTANCE METHOD IN THE 19th CENTURY: A SIMULATION OF J. SLOCUMS OBSERVATION Siebren Y. Van der Werf Vol. 44, No. 1, 1997
- LONGITUDE BY LUNAR OBSERVATIONS AND THE POCKET CALCULATOR D. W. Kerst Vol. 25, No. 4, 1978
- THE METHOD OF LUNAR DISTANCES AND TECHNOLOGICAL ADVANCE Saul Moskowitz Vol. 17, No. 2, 1970
- LUNAR DISTANCES AND OCCULTATIONS USING H. O. 214 D. D. Williams Vol. 12, No. 2, 1965
- THE LUNAR DISTANCE PAGE http://members.verizon.net/~vze3nfrm/
- About Lunars, (Free tutorial), George Huxtable http://www.irbs.com/lists/navigation/
- Tabla de distancias lunares geocéntricas: http://www.math.uu.nl/people/wepster/tables.html
- Tabla de logaritmos proporcionales: http://www.math.uu.nl/people/wepster/proplog.pdf
- Lunar distance (navigation): http://en.wikipedia.org/wiki/Lunar_distance_(navigation)
- Nevil Maskelyne (Londres, 1732-1811). http://es.wikipedia.org/wiki/Nevil_Maskelyne
- Josef de Mendoza y Ríos http://es.wikipedia.org/wiki/Josef_de_Mendoza_y_R%C3%ADos http://en.wikipedia.org/wiki/Josef_de_Mendoza_y_R%C3%ADos
- History of longitude: http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_longitude

Libros antiguos

- Tratado de Navegación. Tomo I y tomo II. Josef de Mendoza y Ríos, Madrid, Imprenta Real, 1787.
- A complete collection of tables for navigation and nautical astronomy, with simple, concise and accurate methods for all the calculation useful at sea; particularly for deducing the longitude from lunar distance, and the latitude from two altitudes of the sun and the interval of time between the observations. Josef de Mendoza y Ríos, London, 1805.
- Capt. Thomas H. Sumner, A New and Accurate Method of Finding a Ship's Position at Sea, by Projection on Mercator's Chart, July 1843, Thomas Groom & Company of Boston. 1845, 1851

- The sextant and its applications. W. H. Simms, London, 1858.
- A manual of spherical and practical astronomy, Vol I & Vo II. William Chauvenet, 1863 1871.

Cartas Náuticas

- SHOM - Service Hydrographique et Océanographique de la Marine – Francia
- Instituto Hidrográfico de la Marina – España
- C-MAP http://www.c-map.com/
- A Chartplotter and GPS Navigation Software http://opencpn.org/

Meteorología

- Météorologie Maritime. 2003. 95-RNA, SHOM, Meteo France. 2-11-088332-4
- Meteorología Náutica, Martínez Jiménez, Enrique. 1980, Librería San José. ISBN 84-85645-05-7
- Atlas de Meteorología. R. Candel Vila. 1982. Jover. 84-7093-005-2
- Predicción Instantánea del Tiempo. Alan Watts. 1980. Juventud. 84-261-1725-5
- Meteorología. Günter D. Roth. 1979. Omega. 84-282-0552-3
- Meteorología básica sinóptica. Mariano Medina. 1976. Paraninfo. 84-283-0734-2
- Guia básica de meteorologia general. Dirección General de Meteorología, Perú http://www.senamhi.gob.pe/aprendiendo/apren_meteo.htm
- Meteorología Descriptiva. Inzunza. http://www2.udec.cl/~jinzunza/meteo/meteo.htm

Huracanes

- National Hurricane Center - Tropical Prediction Center http://www.nhc.noaa.gov/
- Mariner's guide to hurricane safety (1.2mb) - a comprehensive guide for mariners (NHC)
- http://www.aoml.noaa.gov/general/lib/hurricane.html
- http://es.wikipedia.org/wiki/Huracanes
- http://www.wunderground.com/tropical/
- http://en.wikipedia.org/wiki/South_Atlantic_tropical_cyclone

Oceanografía

- Elementos de Oceanografía. Martínez Jiménez, Enrique. 1981. Librería San José. 84-300-5172-4
- Introduction To Physical Oceanography. Robert H. Stewart. 2004. http://oceanworld.tamu.edu/resources/ocng_textbook/PDF_files/book_pdf_files.html

- Instituto Español de Oceanografía http://www.ieo.es/inicial.htm
- International Ice Patrol http://www.uscg.mil/lantarea/iip/home.html
- National Ice Center – USA http://www.natice.noaa.gov/
- Canadian Ice Service http://ice-glaces.ec.gc.ca/
- Manual of Standard Procedures for Observing and Reporting Ice Conditions – MANICE http://ice-glaces.ec.gc.ca/App/WsvPageDsp.cfm?Lang=eng&lnid=23&ScndLvl=no&ID=172
- Nomenclatura de la OMM del hielo marino
- http://es.wikipedia.org/wiki/Corriente_marina
- http://es.wikipedia.org/wiki/Olas
- http://es.wikipedia.org/wiki/Hielo
- http://es.wikipedia.org/wiki/Banquisa
- http://es.wikipedia.org/wiki/Iceberg